

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ

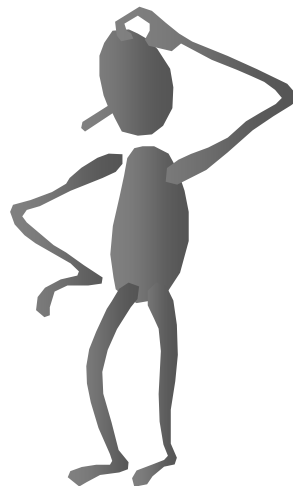
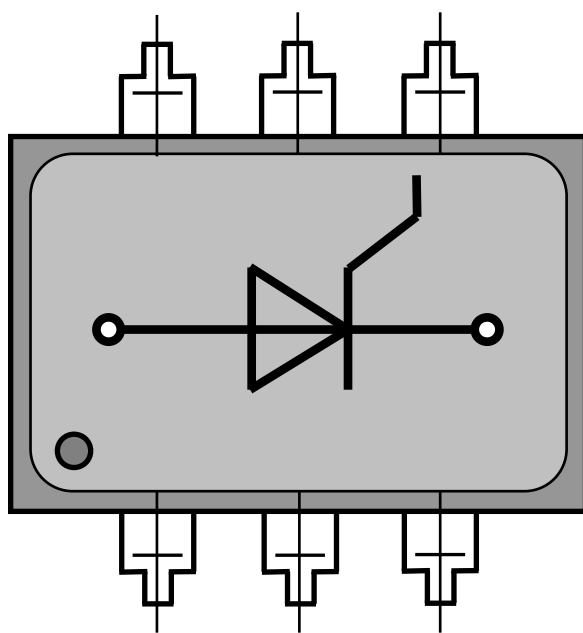


ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО
ГОСПОДАРСТВА

ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА

ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
(для студентів усіх форм навчання напряму підготовки
6.050701 – "Електротехніка та електротехнології")



Харків – ХНАМГ – 2013

Промислова електроніка. Перетворювальні пристрої: методичні вказівки до виконання лабораторних робіт (для студентів усіх форм навчання напряму підготовки 6.050701 - "Електротехніка та електротехнології") / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: А. Г. Сосков, Ю. П. Колонтаєвський, О. Ф. Білоусов та ін. – Х. : ХНАМГ, 2013. – 47 с.

Укладачі: проф., д.т.н. А. Г. Сосков,
доц., к.т.н. Ю. П. Колонтаєвський,
доц., к.т.н. О. Ф. Білоусов,
доц., к.т.н. Я. Б. Форкун,
доц., к.т.н. Н. О. Сабалаєва.

Рецензент: проф., д.т.н. В. Б. Фінкельштейн

Рекомендовано кафедрою теоретичної та загальної електротехніки,
протокол № 6 від 31.01.2013 р.



ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

⚠ До виконання лабораторних робіт студенти допускаються після інструктажу з техніки електричної та протипожежної безпеки у лабораторії промислової електроніки, про що обов'язково робиться відповідний запис до журналу реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

⚠ Напруги на доступних для дотику виводах лабораторного устаткування не перевищують допустимих значень у 42 В для змінного струму та 110 В для постійного. Незважаючи на це, оскільки живлення устаткування та вимірювальних приладів здійснюється від мережі 220 В напруги змінного струму, при виконанні робіт не слід доторкати-ся одночасно до двох одиниць устаткування або приладів, а також до труб центрального опалення та використовувати у якості указок струмопровідні предмети (у т. ч. олівці з графітовим стрижнем).

⚠ Забороняється розміщувати на робочих місцях одяг та інші особисті речі, що не використовуються для роботи.

⚠ Забороняється без дозволу викладача переміщуватись на інші робочі місця, покидати робочі місця та межі лабораторії.

⚠ При виявленні несправності устаткування та вимірювальних приладів або відхилень у їхній роботі, їх необхідно знеструмити і повідомити про це викладачеві.

⚠ У разі виникнення нещасного випадку необхідно вимкнути живлення лабораторії, надати потерпілому першу допомогу, негайно сповістити викладача.

⚠ У разі виникнення загоряння у лабораторії необхідно вимкнути живлення лабораторії та загасити полум'я вогнегасником, негайно сповістити викладача.

⚠ Після закінчення виконання робіт необхідно вимкнути живлення устаткування та вимірювальних приладів, навести лад на робочому місці, сповістити викладача.

ВСТУП

Дані методичні вказівки до лабораторних робіт складені на основі робочої програми з дисципліни „Промислова електроніка” і призначені для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050701 - "Електротехніка та електротехнології".

Метою виконання лабораторних робіт є формування у студентів знань і практичних навиків дослідження таких пристроїв перетворювальної техніки як одно- і трифазні випрямлячі (у тому числі керовані), фільтри, стабілізатори напруги, інвертори.

У результаті виконання даних робіт студенти повинні освоїти принципи дії силових електронних пристроїв, що застосовуються для живлення пристроїв промислової електроніки та електронних приладів, на яких вони будуються.

Методика проведення лабораторних робіт пов'язана з наявністю необхідного устаткування і організацією робочих місць у лабораторії промислової електроніки кафедри теоретичної та загальної електротехніки, кількістю навчальних груп, які одночасно приступають до виконання лабораторних робіт.

Студенти повинні заздалегідь готуватися до занять у лабораторії, вивчаючи відповідні розділи теоретичного курсу за лекційними записами і навчальною літературою та знайомлячись зі змістом лабораторної роботи за даними методичними вказівками. Також заздалегідь необхідно заготовити таблиці для фіксації результатів експериментів і кальку або інший подібний прозорий матеріал для зняття осцилограм.

Перед виконанням лабораторної роботи студенти знайомляться на робочому місці з приладами та устаткуванням. Експериментальна частина

виконується самостійно відповідно до методичних вказівок під керівництвом і за контролем викладача з дотриманням правил техніки безпеки.

Результати вимірів і осцилограми студенти обробляють у лабораторії, аналізуючи результати кожного досліду.

За результатами виконання лабораторної роботи складається звіт (форму наведено у Додатку А). Звіт повинен бути складений чітко й акуратно. Особливу увагу варто приділяти формулюванню висновків за виконаною роботою, у яких необхідно зіставити результати експериментальних досліджень з відомими з теоретичного курсу закономірностями.

Схеми електричні принципові виконуються згідно з вимогами державних стандартів і з застосуванням креслярського знаряддя. У схемах, формулах і таблицях необхідно використовувати стандартні умовні позначення.

Для здачі лабораторної роботи студент повинен представити повністю оформлений звіт, уміти пояснити будь-який з проведених дослідів і відповісти на контрольні запитання викладача.

Лабораторна робота № 6

ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження однофазних схем випрямлення.
- 2) Дослідження однофазних випрямлячів з пасивними фільтрами і компенсаційним стабілізатором.
- 3) Дослідження однофазного керованого випрямляча.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний № 5, 6.
- 2) Осцилограф С1-93 (С1-83).

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідити роботу однопівперіодної і мостової однофазних схем випрямлення при роботі на активне навантаження.
- 2) Дослідити роботу однопівперіодного і мостового однофазних випрямлячів з ємнісним, індуктивним, індуктивно-ємнісними Г-подібним і П-подібним фільтрами та з компенсаційним стабілізатором.
- 3) Дослідити роботу однофазного керованого випрямляча з нульовим виводом.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

4.1. Ознайомитись з робочим місцем устаткуванням і приладами.

4.2. Ввімкнути осцилограф та живлення стенда лабораторного. Тумблер у середній частині лицьової панелі стенда (між мнемосхемами) встановити у праве положення.

4.3. Дослідження однопівперіодної і мостової схем випрямлення при роботі на активне навантаження

4.3.1. Дослідження виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 6.1 (верхня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

Перемикач „Рег. выпр.” встановити у ненатиснуте положення.

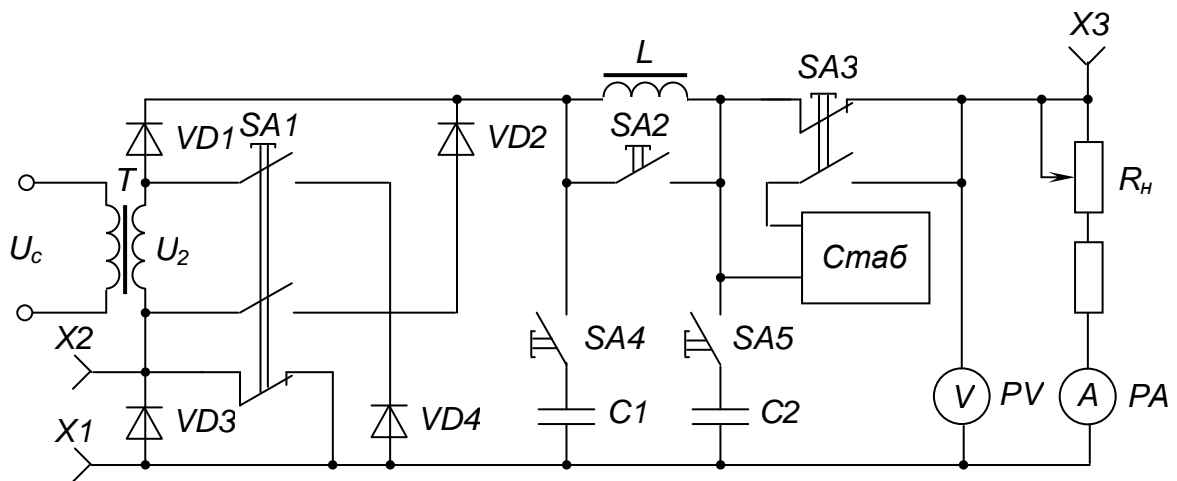


Рис. 6.1 – Схема для дослідження однофазних некерованих випрямлячів

4.3.2. Зібрати однопівперіодну схему випрямлення, для чого перемикачі встановити у такі положення: *SA1* – у ненатиснуте, *SA2* – в натиснуте, *SA3-SA5* – у ненатиснуте.

4.3.3. Замалювати осцилограму напруги на навантаженні однопівперіодного випрямляча, для чого кабель першого каналу осцилографа підімкнути нульовим проводом до клемми *X1*, а сигнальним до клемми *X3*.

Замалювати осцилограму напруги на вентилі (діоді) однопівперіодного випрямляча, для чого кабель першого каналу осцилографа підімкнути нульовим проводом до клемми *X2*, а сигнальним до клемми *X1*.

При виконанні дослідів органи керування осцилографа встановлювати у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення.

4.3.4. Зібрати мостову схему випрямлення, для чого перемикач *SA1* встановити у натиснуте положення, а інші перемикачі – згідно з пп. 4.3.2.

4.3.5. Замалювати осцилограми напруг на навантаженні і діоді мостового випрямляча, використовуючи методику, викладену в пп. 4.3.3.

4.4. Дослідження однопівперіодного і мостового випрямлячів з різними типами фільтрів та з стабілізатором

4.4.1. Зняти залежність вихідної напруги однопівперіодного і мостового випрямлячів від струму навантаження для різних типів фільтрів і з стабілізатором (зовнішні характеристики), для чого:

1) значення струму навантаження задавати резистором R_n за амперметром *PA*, встановленим на лицьовій панелі стенда лабораторного;

- 2) значення вихідної напруги фіксувати за вольтметром PV , встановленим на лицьовій панелі;
- 3) перемикачі $SA1$ – $SA5$ встановлювати згідно з табл. 6.1;
- 4) результати занести у табл. 6.2.

Примітки. 1. У табл. 6.1 знак “X” відповідає натиснутому положенню перемикача.

2. У табл. 6.2 позиції, що відповідають значенням струму навантаження, які не можуть бути встановлені за допомогою резистора R_n , не заповнювати.

Таблиця 6.1 – Положення перемикачів при дослідженнях

Тип випрямляча	Положення перемикачів					Тип фільтра
	$SA1$	$SA2$	$SA3$	$SA4$	$SA5$	
однопівперіодний		X				без фільтра
		X		X	X	C
						L
					X	LC
				X	X	CLC
мостовий	X	X				без фільтра
	X	X		X	X	C
	X					L
	X				X	LC
	X			X	X	CLC
мостовий з стабілізатором	X		X	X	X	CLC

4.4.2. Зняти осцилограми напруги на навантаженні однопівперіодного і мостового випрямлячів з ємнісним та індуктивним фільтрами, а також мостового випрямляча з П-подібним CLC -фільтром і з CLC -фільтром та стабілізатором. Для цього кабель першого каналу осцилографа нульовим проводом підімкнути до клеми $X1$, а сигнальним до $X3$. Тип фільтра задавати установкою перемикачів згідно табл. 6.1.

Таблиця 6.2 – Результати зняття зовнішніх характеристик

I_H, A			0,1	0,15	0,2	0,3	0,35	0,4	0,5	0,6	Тип випрямляча
U_d, B	Тип фільтра	без фільтра									одно- півперіодний
		C									
		L									
		LC									
		CLC									
		без фільтра									мостовий
		C									
		L									
		LC									
		CLC									
		CLC									мостовий з стабілізатором
		*) LC ($\alpha=30^\circ$)									керований з нульовим виводом
		*) LC ($\alpha=60^\circ$)									

*) Строки, помічені цим знаком, заповнюються при виконанні завдання пп. 4.5.3.

4.5. Дослідження керованого випрямляча з нульовим виводом

4.5.1. Дослідження виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 6.2 (нижня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного).

Перемикач “Рег. выпр.” установити в натиснуте положення.

Перемикач SA встановити у ненатиснуте положення (відключення фільтра).

4.5.2. Замалювати осцилограми напруг для кута керування $\alpha = 60^\circ$:

1) на вторинній обмотці трансформатора, для чого підімкнути кабель першого каналу осцилографа до клеми X1 нульовим проводом, а до клеми X2 сигнальним;

2) на навантаженні – клеми X1 і X5 відповідно;

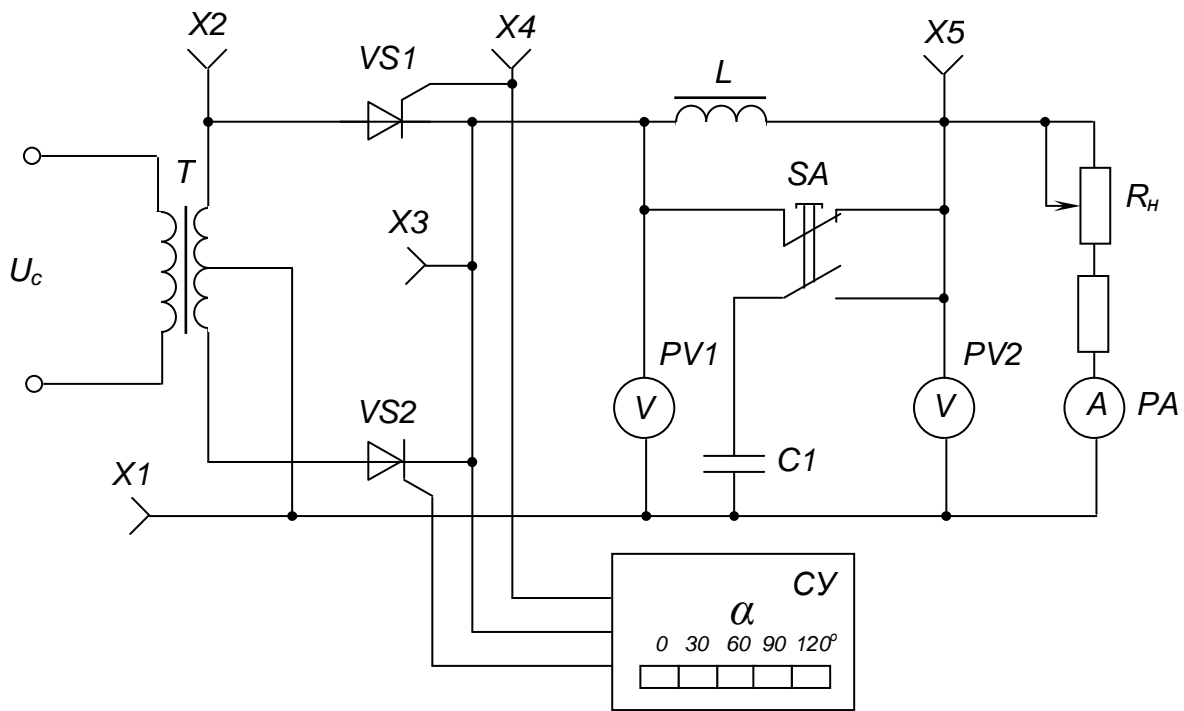


Рис. 6.2 - Схема для дослідження однофазного керованого випрямляча з нульовим виводом

3) на тиристорі – клеми $X3$ і $X2$;

4) на керуючому електроді тиристора – клеми $X3$ і $X4$.

Значення кута керування задавати встановленням у натиснуте положення відповідної кнопки перемикача „ α ” системи керування СУ.

4.5.3. Зняти зовнішню характеристику випрямляча з Г-подібним LC-фільтром при кутах керування $\alpha = 30^\circ$ і $\alpha = 60^\circ$, для чого:

1) підімкнути фільтр, встановивши перемикач SA у натиснуте положення;

2) значення кута керування задавати натисканням відповідної кнопки перемикача „ α ” системи керування СУ;

3) значення струму навантаження задавати резистором R_n за амперметром PA;

4) значення напруги на навантаженні фіксувати за вольтметром PV2;

5) результати експерименту занести в табл. 6.2.

4.5.4. Зняти залежність вихідної напруги випрямляча від кута керування (регульовальну характеристику) при роботі на активне навантаження, для чого:

- 1) перемикач SA встановити у ненатиснуте положення;
- 2) значення кута керування задавати перемикачем " α " системи керування СУ;
- 3) результати експерименту занести в табл. 6.3.

Таблиця 6.3 – Регульовальна характеристика керованого випрямляча

α , град	0	30	60	90	120
U_d , В					

4.6. Вимкнути живлення осцилографа і стенда лабораторного. Навести порядок на робочому місці.

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. У звіті про лабораторну роботу осцилограми розташовувати одну під одною з урахуванням орієнтації відносно осцилограми напруги на вторинній обмотці трансформатора.

За осцилограмами з пп. 4.3.3 та пп. 4.3.5 зробити висновки щодо характеру вихідної напруги досліджуваних схем випрямлення і значень зворотної напруги на діодах.

4.7.2. За даними табл. 6.2 у одній системі координат побудувати зовнішні характеристики однопівперіодного і мостового випрямлячів для різних типів фільтрів та мостового випрямляча з стабілізатором.

Аналізуючи побудовані характеристики, зробити висновки про вплив на значення вихідної напруги випрямляча:

- 1) схеми випрямлення (типу вентильної схеми);
- 2) ємнісного фільтра;
- 3) індуктивного фільтра;
- 4) наявності у складі випрямляча стабілізатора.

4.7.3. За осцилограмами пп. 4.4.2 визначити розмах пульсацій напруги для кожного випадку і зробити висновки про вплив типу фільтра на характер пульсацій і про вплив стабілізатора на їхнє значення.

4.7.4. За даними табл. 6.2 у одній системі координат побудувати зовнішні характеристики керованого випрямляча для різних кутів керування.

4.7.5. За даними табл. 6.3 побудувати регульовальну характеристику керованого випрямляча.

4.7.6. На основі аналізу осцилограм за пп. 4.5.2 і характеристик, побудованих за пп. 4.7.4 і 4.7.5, зробити висновки про те, за рахунок чого здійснюється регулювання середнього значення вихідної напруги керованого випрямляча і чому регульовальна характеристика має нелінійний характер.

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

5.1. Випрямлячі

Електрична енергія централізовано, в основному, виробляється на змінному струмі.

В той же час споживання електричної енергії, за винятком теплових та освітлювальних установок, двигунів змінного струму та деяких інших застосувань, як правило, відбувається на постійному струмі: електричні двигуни постійного струму, технологічні процеси (наприклад, електроліз, зварювання), живлення електронних пристроїв (наприклад, вимірювальних, підсилюючих, обчислювальних, керуючих і т.п.).

Виходячи з цього, одним з основних видів перетворення електричної енергії є випрямлення.

Випрямлячем називають електротехнічний пристрій, призначений для перетворення енергії джерела напруги змінного струму в енергію напруги постійного струму.

Випрямляч зазвичай містить трансформатор, вентильну схему, згладжуючий фільтр, регулятор (стабілізатор). Навантаження також відносять до складу випрямляча, оскільки воно суттєво впливає на його роботу.

Трансформатор здійснює перетворення напруги мережі до необхідного для роботи випрямляча значення і забезпечує електричне (гальванічне) розділення первинного і вторинного кіл. Останнє забезпечує умови електричної безпеки за живлення.

Вентильна схема перетворює змінну напругу на випрямлену – в однопольярну пульсуючу.

Згладжуючий фільтр виділяє з однополярної пульсуючої напруги постійну складову, чим забезпечує отримання власне напруги постійного струму.

Регулятор (стабілізатор) призначений для завдання на навантаженні необхідного значення напруги або його зміни за необхідним законом (наприклад, підтримки напруги на навантаженні на незмінному рівні) при змінах напруги мережі або змінах опору навантаження у заданих межах.

5.2. Однофазні схеми випрямлення

При потужності споживачів до декількох сотень ват випрямлення здійснюють за допомогою однофазних схем: однопівперіодної і двопівперіодних – з нульовим виводом і мостової.

Однопівперіодна схема і часові діаграми, що ілюструють її роботу, наведені на рис. 6.3.

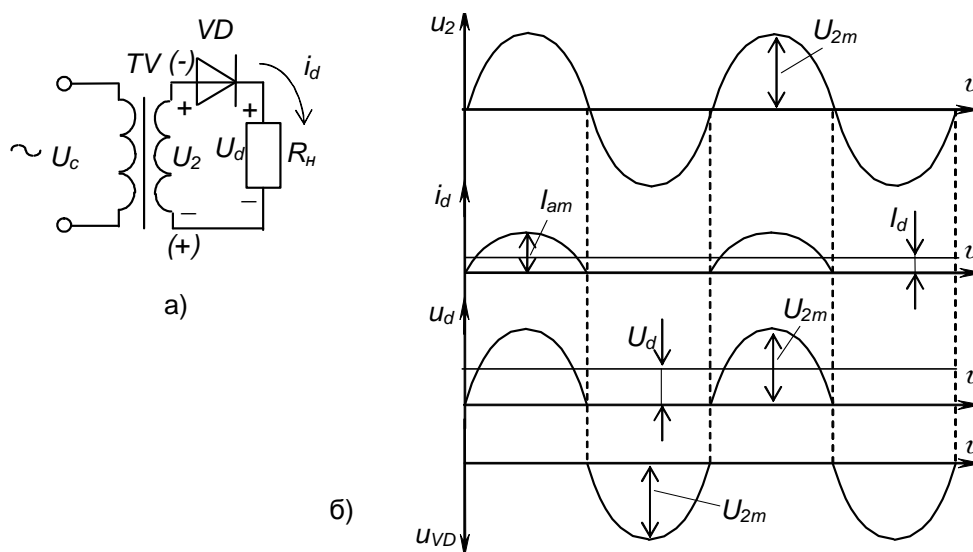


Рис. 6.3 – Однофазний однопівперіодний випрямляч (а)
і часові діаграми його роботи (б)

Часові діаграми тут і надалі, як правило показують залежність відповідної величини від $\vartheta = \omega t$, де $\omega = 2\pi f_M$ – кругова частота, f_M – частота мережі живлення, а t – час.

Струм у схемі протікає тільки при полярності напруги U_2 , зазначеної без дужок, коли діод VD відкритий. При протилежній полярності діод закритий, і вся напруга прикладається до нього.

Двопівперіодна схема випрямляча з нульовим виводом та часові діаграми його роботи наведені на рис. 6.4.

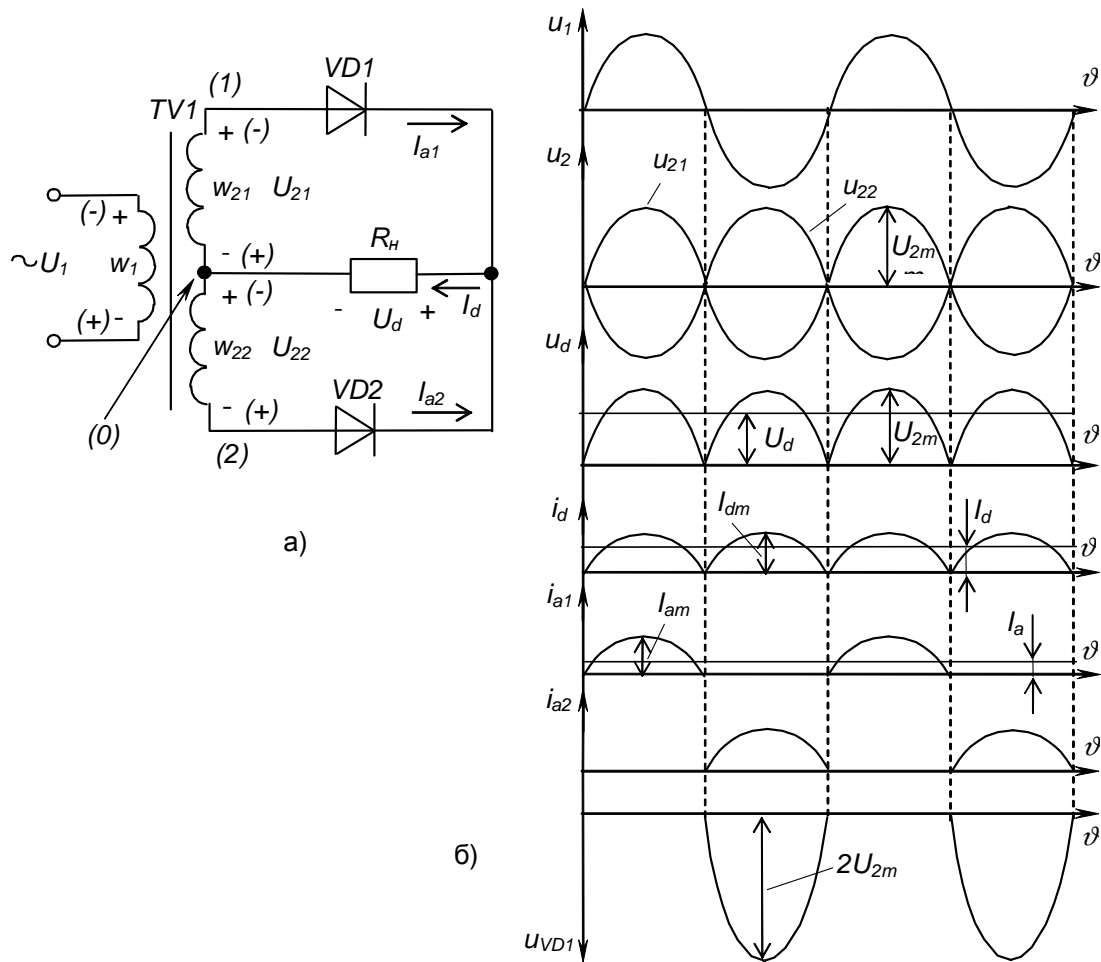


Рис. 6.4 – Однофазний випрямляч з нульовим виводом (а)
і часові діаграми його роботи (б)

Дана схема фактично являє собою об'єднання двох однопівперіодних схем випрямлення, одна з яких пропускає струм у навантаження при позитивній півхвилі напруги U_{21} , а інша – при негативній півхвилі напруги U_{22} . Оскільки число витків півобмоток однакове, то $U_{21} = U_{22}$. При цьому напрямок струму в навантаженні у обох випадках однаковий, а отже полярність пульсуючої напруги також однакова.

Максимальна зворотна напруга на закритому діоді дорівнює сумі амплітуд напруг U_{21} і U_{22} , тобто подвійній амплітуді напруги півобмотки трансформатора, оскільки коли один діод відкритий, а інший закритий, то останній виявляється підімкненим до двох півобмоток трансформатора.

Двопівперіодна мостова схема і часові діаграми, що пояснюють її роботу, наведені на рис. 6.5

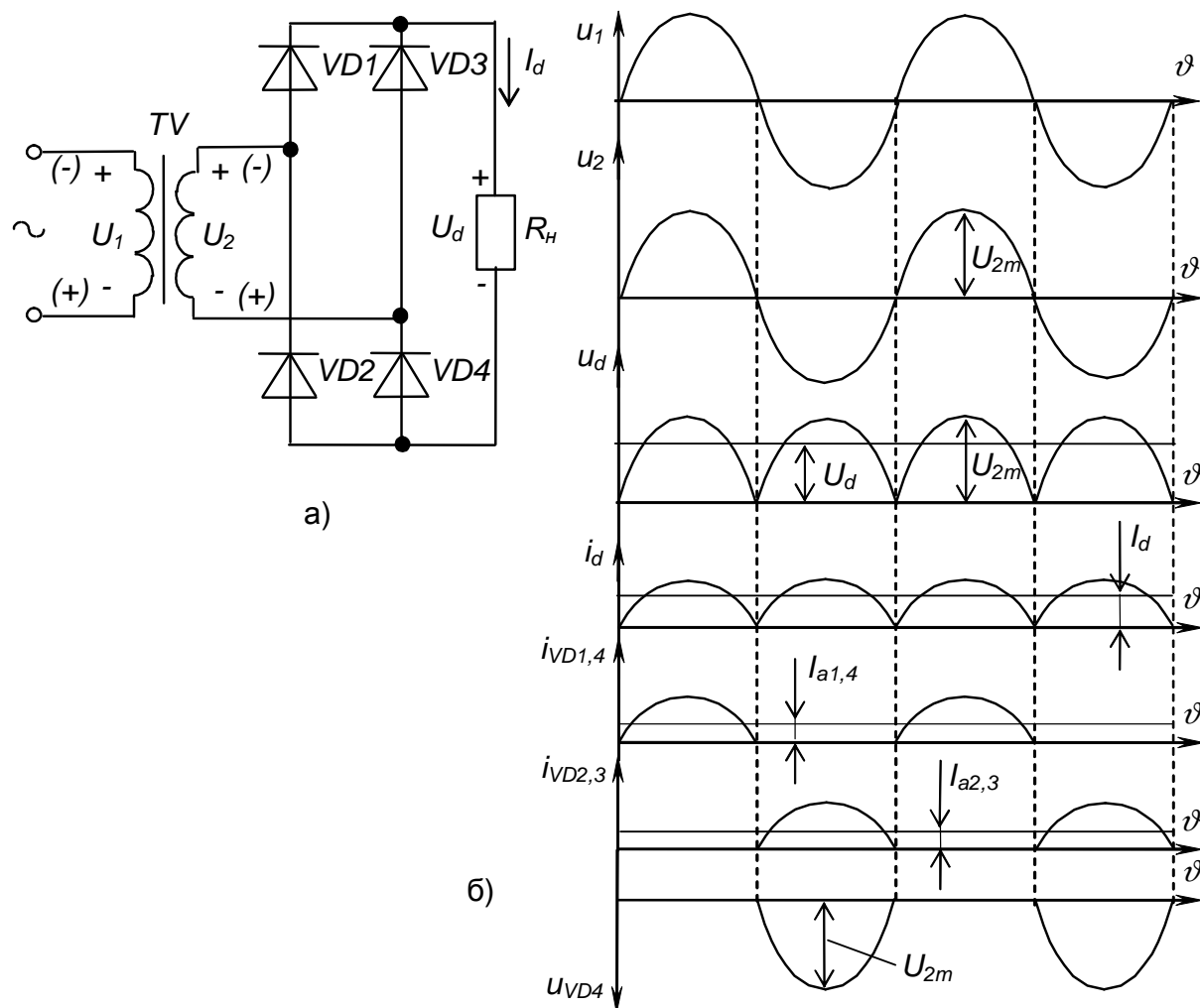


Рис. 6.5 – Однофазний мостовий випрямляч (а) і часові діаграми його роботи (б)

У цій схемі до однієї діагоналі утвореного діодами моста – діагоналі змінного струму – підімкнено вторинну обмотку трансформатора, а до іншої – діагоналі постійного струму – навантаження. Діоди $VD1$ і $VD3$ складають катодну групу, а $VD2$ і $VD4$ – анодну (за ознакою з'єднання разом однакових електродів).

За позитивної півхвилі напруги U_2 (полярність зазначена без дужок) струм протікає через діоди $VD1$ і $VD4$. До діодів $VD2$ і $VD3$ у цей час прикладена зворотна напруга, амплітудне значення якої дорівнює U_{2m} , тому що закритий діод (наприклад, $VD2$) через діод, що проводить струм ($VD4$), підмикається паралельно до вторинної обмотки трансформатора. За негативної півхвилі (полярність зазначена у дужках) струм проводять діоди $VD2$ і

VD3, тобто у провідному стані в мостовому випрямлячі завжди знаходяться два діоди – один катодної групи і один анодної.

Основні показники однофазних схем випрямлення наведені в табл. 6.4.

Таблиця 6.4 – Основні показники однофазних схем випрямлення

Параметр		Схема випрямлення		
		однопів-періодна	двопів-періодна з нульовим виводом	двопів-періодна мостова
Відношення діючого значення напруги вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленої напруги	$\frac{U_2}{U_d}$	2,22	1,11	1,11
Відношення діючого значення струму вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_2}{I_d}$	1,57	0,785	1,11
Відношення середнього значення струму діода до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_a}{I_d}$	1,57	0,5	0,5
Відношення діючого значення струму первинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленого струму (n - коефіцієнт трансформації)	$\frac{I_1}{nI_d}$	1,21	1,11	1,11
Частота основної гармоніки пульсацій	$f_{(1)}$	f_m	$2f_m$	$2f_m$
Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги	$K_{n(1)}$	1,57	0,667	0,667
Габаритна потужність трансформатора	S_T	3,1	1,48	1,23
Наявність підмагнічування	–	є	немає	немає

Порівняльний аналіз однофазних схем випрямлення показує:

1) однопівперіодна схема, у зв'язку з підвищеною габаритною потужністю трансформатора (бо його осердя підмагнічується через протікання струму у вторинній обмотці в одному напрямку протягом періоду) і знач-

ним коефіцієнтом пульсацій, застосовується тільки для живлення навантажень малої потужності – десятки міліват;

2) схема з нульовим виводом має кращі параметри вихідної напруги і два діоди, але трансформатор повинен мати вторинну обмотку, що складається з двох однакових півобмоток, і на закритий діод діє подвійна зворотна напруга;

3) мостова схема, що має чотири діоди і трансформатор з однією вторинною обмоткою, забезпечує ті ж параметри вихідної напруги, що й схема з нульовим виводом (оскільки габарити і вартість діодів невеликі, їхня подвоєна кількість не є істотним недоліком, окрім випадків випрямлення малих значень напруг – одиниці вольт, – коли істотно проявляється дія прямого падіння напруги на діодах).

5.2. Згладжуючі фільтри

Згладжуючий фільтр застосовується для згладжування пульсацій випрямленої напруги до рівня, необхідного для нормальної роботи навантаження.

При цьому коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги визначається як відношення амплітуди основної гармоніки пульсацій $U_{m(1)}$ до значення постійної складової

$$K_{n(1)} = \frac{U_{m(1)}}{U_d} . \quad (6.1)$$

Якість фільтра характеризується коефіцієнтом згладжування, що дорівнює відношенню коефіцієнта пульсацій на вході фільтра $K_{n(1)вх}$ до коефіцієнта пульсацій на його виході $K_{n(1)вих}$:

$$K_{зг} = \frac{K_{n(1)вх}}{K_{n(1)вих}} . \quad (6.2)$$

Фільтри бувають пасивними (виконуються на пасивних елементах – резисторах, конденсаторах, дроселях) і активними (на транзисторах, операційних підсилювачах).

Пасивні фільтри використовують здатність індуктивностей і ємностей накопичувати енергію відповідно електричного та електромагнітного полів.

Індуктивні фільтри застосовуються у випрямлячах середньої і великої потужності, тому що забезпечують безперервність струму в схемі: у

навантаженні, трансформаторі, діодах (бо відповідно до першого закону комутації струм у індуктивності не може змінюватися стрибком).

Схема індуктивного фільтра і часові діаграми його роботи при фільтрації двопівперіодної напруги наведені на рис. 6.6.

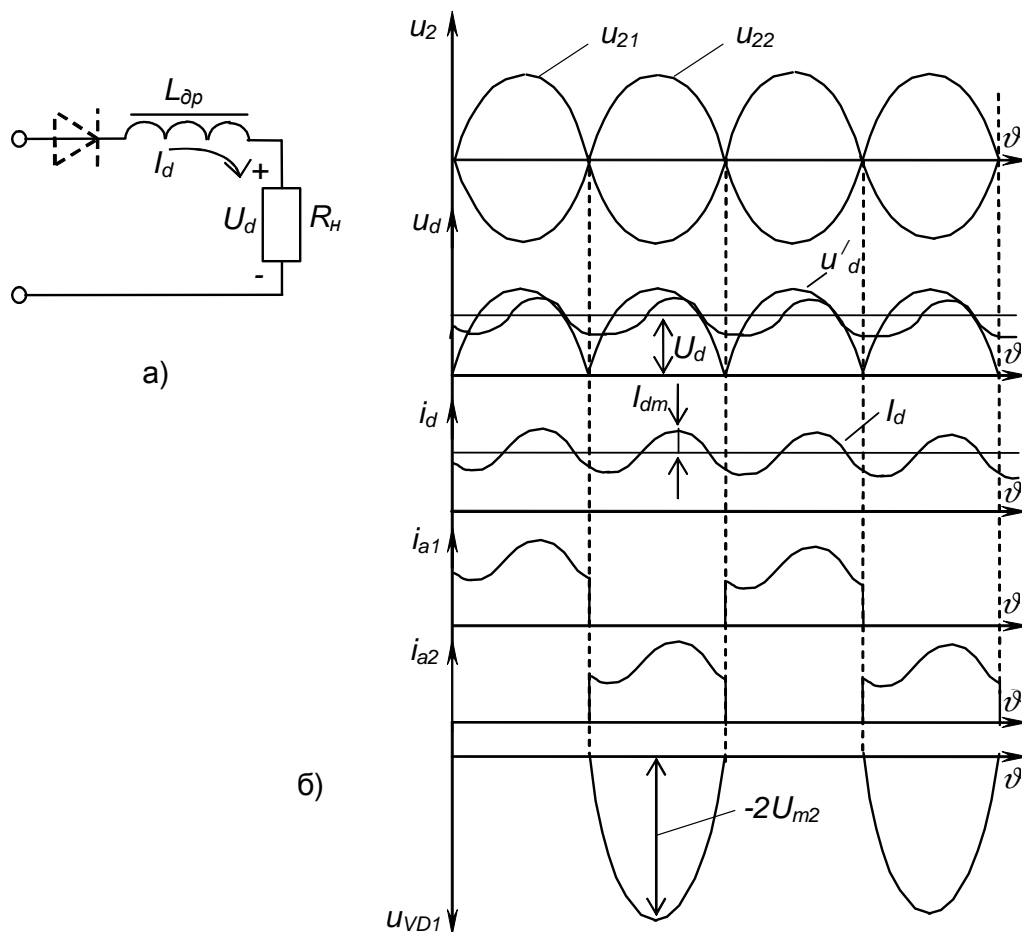


Рис. 6.6 – Індуктивний фільтр (а) і часові діаграми роботи (б) однофазного двопівперіодного випрямляча з індуктивним фільтром (з активно-індуктивним навантаженням)

Ефект фільтрації визначається тим, що індуктивність чинить опір гармонічним складовим пульсуючої випрямленої напруги, а постійній складовій – ні. Дросель і активний опір навантаження утворюють частотнозалежний дільник напруги за умови, що опір дроселя змінній складовій пульсуючого струму з найнижчою частотою $X_L = \omega_n L$ (активний опір у ідеального дроселя відсутній) значно перевищує активний опір навантаження R_H . Змінні складові напруги діляться між R_H і X_L так, що в основному падають на X_L , а постійна складова вся прикладається до R_H .

Отже для ефективного згладжування необхідним є виконання умови:

$$X_L = \omega_n L \gg R_H, \quad (6.3)$$

де $\omega_n = 2\pi f_n$.

У якості індуктивності в випрямлячах використовують дроселі – котушки індуктивності з магнітним осердям, що має повітряний зазор, який запобігає насиченню магнітопроводу.

Ємнісний фільтр – це конденсатор, що вмикається паралельно навантаженню. Його схема і часові діаграми роботи наведені на рис. 6.7.

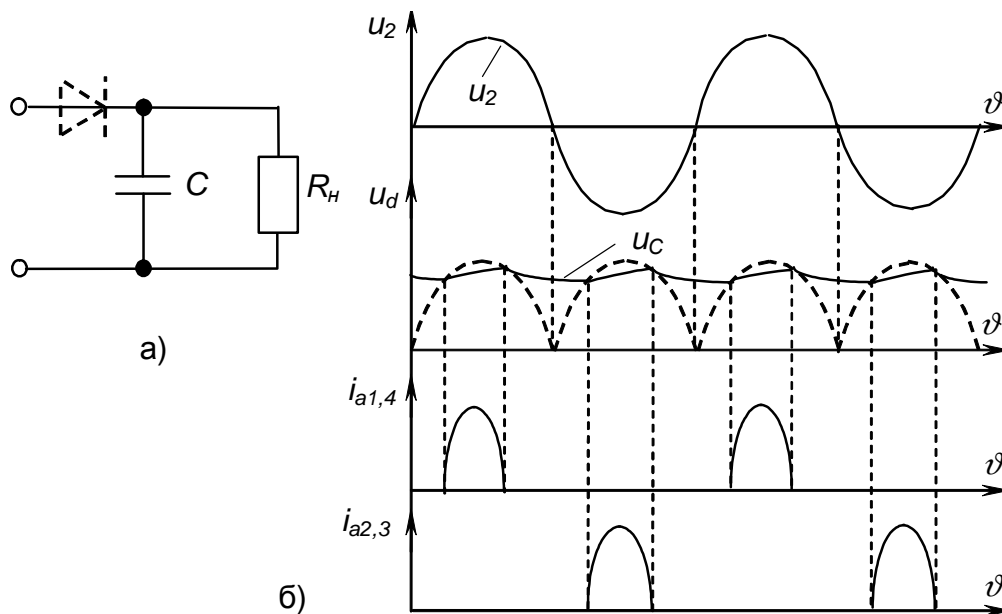


Рис. 6.7 – Ємнісний фільтр (а) і часові діаграми роботи (б) мостового випрямляча з ємнісним фільтром (з активно-ємнісним навантаженням)

За умови, що опір конденсатора X_C для складової пульсуючого струму з найнижчою частотою значно менший за опір навантаження R_n , забезпечується шунтування навантаження за змінним струмом: оскільки конденсатор і активний опір навантаження утворюють частотозалежний дільник струму, постійний струм увесь протікає через R_n (конденсатор постійного струму не проводить), а змінні складові розподіляються між R_n і X_C . Для ефективного згладжування необхідним є виконання умови:

$$X_C = \frac{1}{\omega_n C} \ll R_n . \quad (6.4)$$

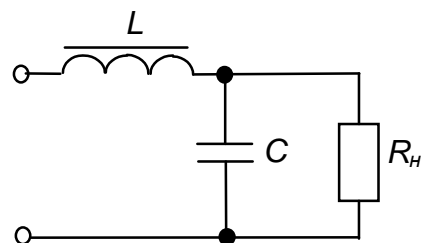
Заряд конденсатора відбувається у проміжки часу, коли напруга вторинної обмотки перевищує напругу на конденсаторі (протікає струм через відповідні вентиля). Якщо вона нижче, то навантаження живиться енергією, що запасена в ємності (конденсатор розряджається).

Струм заряду, значення якого обмежується лише опором елементів схеми випрямлення, має пульсуючий характер, що несприятливо як для діодів і трансформатора, так і для мережі живлення. Тому ємнісні фільтри застосовуються при малих струмах навантаження. Іноді, щоб обмежити кидки струму, у коло заряду включають опір $R = (0,2 - 0,3)R_H$.

Слід також зазначити, що чим більша постійна часу розряду конденсатора $\tau = CR_H$, тим вище середнє значення випрямленої напруги, що наближається до величини $U_{dXX} = \sqrt{2}U_2$.

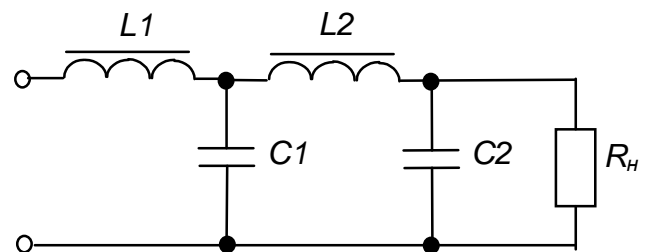
Для підвищення якості фільтрації і поліпшення умов роботи випрямляча застосовують Г-подібні LC-фільтри, що виконуються за схемою, зображеною на рис. 6.8,а.

Тут конденсатор знижує опір навантаження за змінним струмом, а індуктивність, окрім фільтрації, забезпечує і безперервність струму.



а)

Для одержання кращого згладжування випрямленої напруги при забезпеченні прийнятних значень параметрів елементів фільтра застосовують багатоланкові фільтри, що являють собою послідовне вмикання простих фільтрів (ланок). Коефіцієнт згладжування багатоланкового фільтра дорівнює добутку коефіцієнтів згладжування ланок. Прикладом багатоланкового фільтра може бути П-подібний CLC-фільтр, зображений на рис. 6.8,б. Він являє собою послідовне вмикання ємнісного фільтра і Г-подібного LC-фільтра.



б)

Рис. 6.8 - Г-подібні LC-фільтри: одноланковий (а) і дволанковий (б)

Для забезпечення високих масогабаритних показників за малої потужності застосовують активні фільтри, у яких дія реактивних елементів посилюється транзисторними або операційними підсилювачами.

5.5. Компенсаційний стабілізатор напруги

Стабілізатори призначені для підтримання значення напруги на навантаженні випрямляча на незмінному рівні при змінах напруги мережі, опору навантаження у заданих межах і дії інших дестабілізуючих факторів.

Стабілізатори поділяються на параметричні, де використовується ефект незмінності напруги в деяких видах електронних приладів при зміні струму, що протікає через них, (наприклад, стабілітрон), і компенсаційні, у яких стабілізація забезпечується за рахунок замкненої автоматичної системи регулювання з негативним зворотним зв'язком, коли, наприклад, опір керованого нелінійного елемента, включеного послідовно або паралельно навантаженню, змінюється за допомогою спеціальної схеми слідкування.

Частіше застосовуються послідовні стабілізатори, як більш економічні. Структурна схема такого стабілізатора зображена на рис. 6.9.

Тут струм навантаження I_n дорівнює струму регулюючого елемента PE , а напруга на навантаженні U_n дорівнює різниці напруги U_d і падіння напруги на PE U_{PE} . Завдяки зміні системою керування СК значення U_{PE} підтримується сталість U_n :

$$U_n = U_d - U_{PE}. \quad (6.5)$$

Ефективність роботи стабілізатора визначається коефіцієнтом стабілізації, що дорівнює відношенню відносної зміни напруги на вході стабілізатора до відносної зміни напруги на його виході:

$$K_{cm} = \frac{\Delta U_d}{U_d} : \frac{\Delta U_n}{U_n}, \quad (6.6)$$

де ΔU_d і ΔU_n – абсолютні зміни вхідної і вихідної напруг відповідно.

Одна з можливих схем компенсаційного стабілізатора наведена на рис. 6.10.

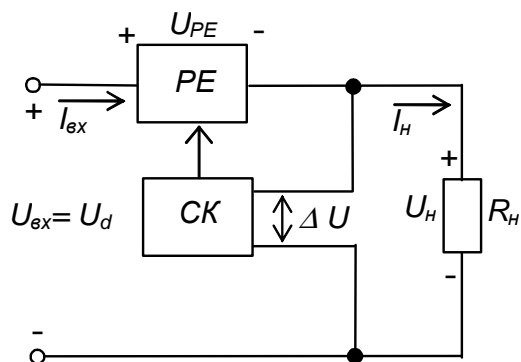


Рис. 6.9 - Структурна схема компенсаційного стабілізатора послідовного типу

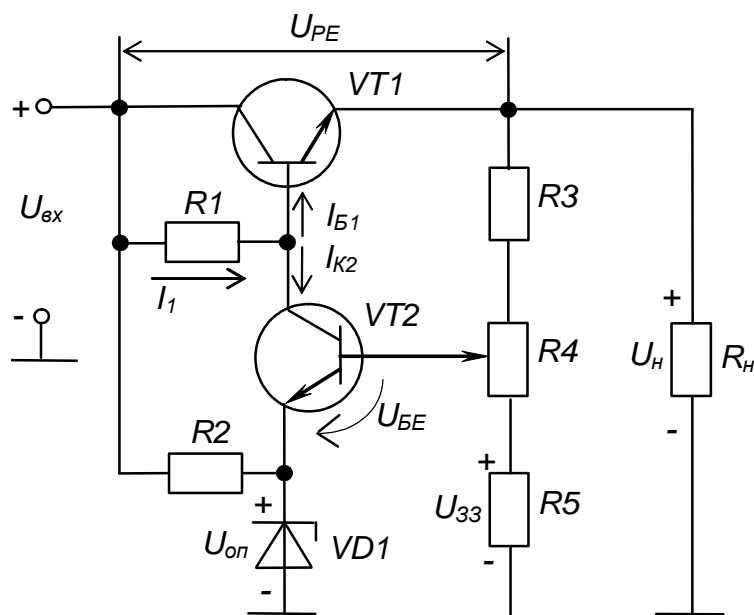


Рис. 6.10 - Компенсаційний стабілізатор послідовного типу з регульованою вихідною напругою

У якості PE тут використано біполярний транзистор $VT1$, увімкнений за схемою з СК із зміщенням фіксованим струмом через резистор R_1 .

Елементи R_2 і $VD1$, що являють собою параметричний стабілізатор, є джерелом опорної (еталонної) напруги $U_{оп}$.

Резистори $R_3 - R_5$ утворюють ділянку вихідної напруги, що є джерелом напруги зворотного зв'язку U_{33} .

Транзистор $VT2$ є пристроєм порівняння і підсилювачем сигналу неузгодженості, що дорівнює різниці напруг U_{33} і $U_{оп}$.

Працює стабілізатор наступним чином.

Наприклад, при збільшенні $U_d = U_{вх}$ починає збільшуватися U_n , а виходить, і U_{33} . Це призводить до збільшення напруги розузгодження

$$U_{BE} = U_{33} - U_{оп}, \quad (6.7)$$

транзистора, що є керуючим для, $VT2$. Через це $VT2$ сильніше відкривається, збільшується його колекторний струм I_{K2} і більша частина струму I_1 , що тече через резистор R_1 , відгалужується у $VT2$. Струм бази транзистора $VT1$

$$I_B = I - I_K \quad (6.8)$$

зменшується і транзистор $VT1$ призакривається, тобто падіння напруги на ньому $U_{KE} = U_{PE}$ збільшується. У результаті, напруга на навантаженні згідно з (6.6) наближається до попереднього значення.

При зменшенні U_d відбуваються зворотні процеси, що також змушує U_n повернутися до попереднього значення.

Напруга на навантаженні визначається значенням еталонної напруги U_{on} і може регулюватися зміною напруги $U_{зз}$ при використанні, наприклад, у якості R_4 резистора змінного опору.

У наш час широко поширені стабілізатори у інтегральному виконанні. Крім елементів, що забезпечують стабільність вихідної напруги, вони містять також елементи захисту від перевантаження, короткого замикання та перегріву корпусу.

5.3. Зовнішня (навантажувальна) характеристика випрямляча

Через наявність опору обмоток трансформатора R'_T (у розрахунках приводиться до вторинної сторони), опору провідників, що з'єднують елементи, R_{np} і опору діодів R_D вихідна напруга випрямляча знижується зі збільшенням струму навантаження.

Це відображає зовнішня характеристика випрямляча:

$$U_d = U_{dXX} - I_d(R'_T + R_{np} + R_D), \quad (6.9)$$

де U_{dXX} – середнє значення випрямленої напруги у режимі холостого ходу;

I_d – середнє значення струму навантаження.

Зовнішні характеристики випрямлячів різного типу наведено на рис 6.11.

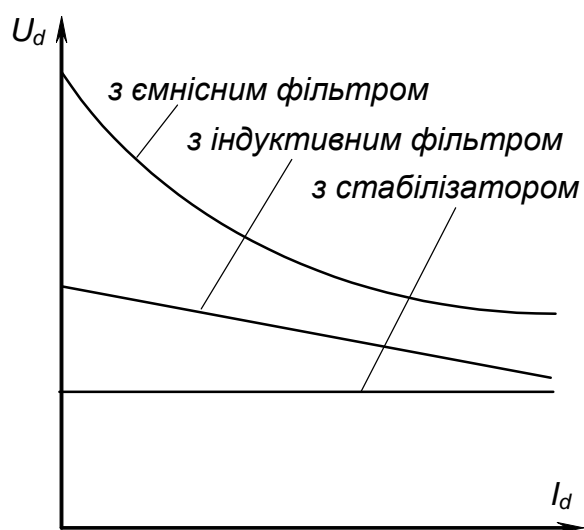


Рис. 6.11 – Зовнішні характеристики випрямлячів

5.6. Керований випрямляч

Можливість зміни постійної напруги на навантаженні за необхідним законом або стабілізація її значення може бути реалізована за допомогою керованих випрямлячів, що будуються на вентилях, які дозволяють за сигналами керування змінювати свої параметри, наприклад, на тиристорах.

Тиристором називають багатошаровий електронний прилад, який може знаходитися у двох станах: закритому і відкритому.

Перевести тиристор із закритого стану у відкритий можна, пропустивши по колу керуючий електрод – катод струм керування $i_{кер}$ за наявності на тиристорі прямої напруги. За рахунок дії внутрішнього позитивного зворотного зв'язку достатній для відкривання тиристора час протікання струму керування складає мікросекунди.

З відкритого стану у закритий тиристор переходить, якщо до нього на деякий час (сотні мікросекунд) прикласти зворотну напругу або зменшити струм, що протікає через нього, нижче значення, називаного струмом утримання. Струм у колі керування при цьому повинен бути відсутнім.

Принцип дії керованого випрямляча розглянемо на прикладі однофазного випрямляча з нульовим виводом, схема і часові діаграми, що пояснюють його роботу, зображені на рис. 6.12.

Принцип регулювання полягає у задаванні регульованої затримки на вмикання тиристорів випрямляча відносно моменту природного переходу напруги мережі живлення через нуль. Ця затримка вимірюється кутом α , що називається кутом керування.

Тиристиори $VS1$ і $VS2$ за допомогою схеми керування СК по черзі підмикають навантаження до півобмоток трансформатора TV .

При	$\alpha = 0$	маємо нерегульований режим;
при	$\alpha = \pi$	тиристор закритий і $U_d = 0$;
при	$0 < \alpha < \pi$	напруга на навантаженні становить

$$U_{d\alpha} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} U_{2m}(\sin \omega t) \cdot d(\omega t) = \frac{U_{2m}}{\pi} (1 + \cos \alpha) . \quad (6.10)$$

Таким чином, змінюючи значення α , регулюють середнє значення вихідної напруги U_d .

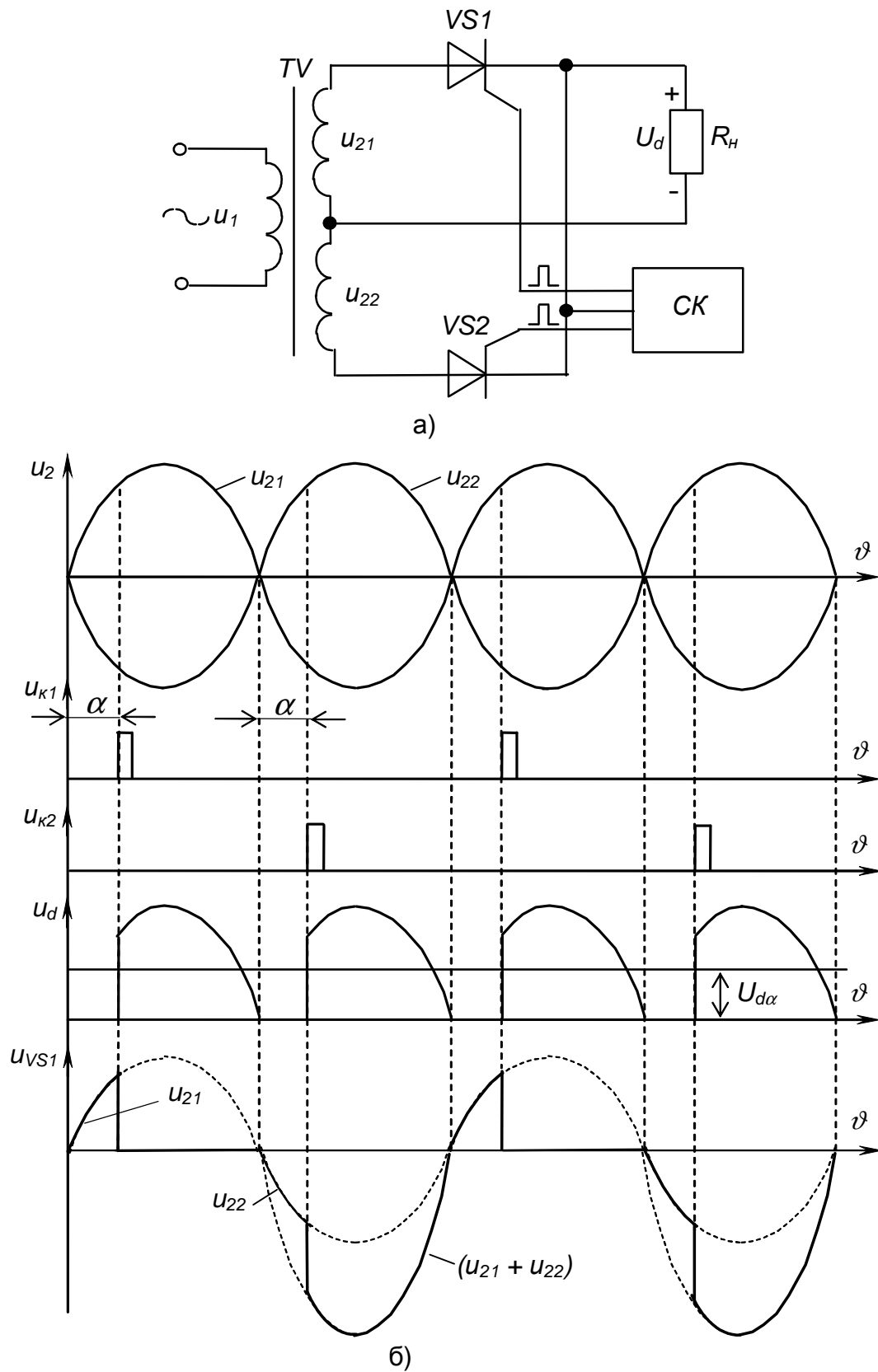


Рис. 6.12 - Однофазний двопівперіодний керований випрямляч з нульовим виводом (а) та часові діаграми його роботи (б)

Регулювальна характеристика випрямляча зображена на рис. 6.13. Вона нелінійна, тому що лінійна зміна α викликає нелінійні зміни площі під кривою синусоїди.

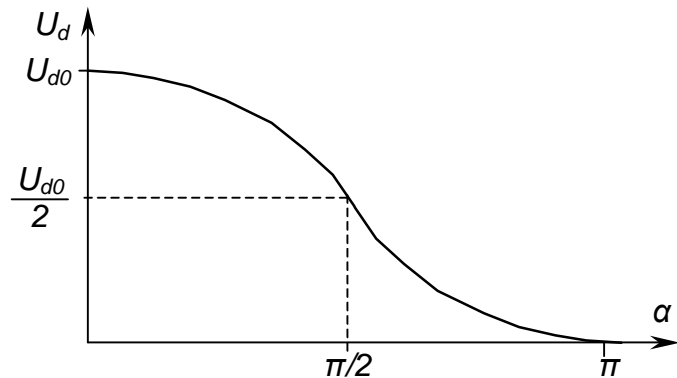


Рис. 6.13 – Регулювальна характеристика керуваного випрямляча

Керовані випрямлячі на тиристорах безінерційні, мають високий к.к.д. (тому що на відміну, наприклад, від компенсаційного стабілізатора надлишок потужності при регулюванні не виділяється на регулюючому елементі у вигляді тепла, а просто не береться з мережі), добре працюють у автоматичному режимі при керуванні від зовнішніх пристроїв.

Їхнім недоліком є значне викривлення форми вихідної пульсуючої напруги, що веде до збільшення габаритів і маси фільтрів і вимагає додаткового встановлення вхідних фільтрів для виключення впливу на мережу живлення за рахунок імпульсного споживання струму.

Керовані випрямлячі застосовуються для створення потужних регульованих джерел постійної напруги, що використовуються для різних цілей: стабілізаторів, терморегуляторів, світлорегуляторів, регуляторів швидкості обертання електродвигунів постійного струму і т.п.

Контрольні запитання

- 1) **Вкажіть призначення і склад випрямляча.**
- 2) **Назвіть схеми випрямлення, що досліджуються у даній роботі, і поясніть принцип дії кожної з них.**
- 3) **Проведіть порівняльний аналіз однофазних схем випрямлення.**
- 4) **Вкажіть призначення, основні параметри й види згладжуючих фільтрів.**
- 5) **Наведіть схему і поясніть принцип дії індуктивного фільтра.**
- 6) **Наведіть схему і поясніть принцип дії ємнісного фільтра.**
- 7) **Наведіть схему і поясніть принцип дії Г-подібного LC-фільтра.**
- 8) **Вкажіть призначення стабілізаторів напруги і поясніть принцип роботи параметричного і компенсаційного стабілізаторів.**

9) Наведіть схему компенсаційного стабілізатора напруги і поясніть принцип його дії.

10) Поясніть, що показує зовнішня характеристика випрямляча і як впливає на її вид склад випрямляча?

11) Поясніть, що таке тиристор, яким чином здійснюють керування ним.

12) Наведіть схему і поясніть принцип дії керованого випрямляча.

13) Поясніть, що показує регульовальна характеристика регульованого випрямляча і який вигляд вона має.

14) Поясніть, у чому полягає відмінність принципів регулювання вихідної напруги в компенсаційному стабілізаторі й у регульованому випрямлячі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - пп. 2.6, пп. 9.1-9.4, пп. 9.6-9.13.

2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) – пп. 2.6, пп. 9.1-9.4, пп. 9.6-9.13.

3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 274-281, 293.

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 287-314.

5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - 189-210, 215-218.

6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшая школа, 1984, 208 с. - с. 167-173, 177-185, 187-190, 193-94.

Лабораторна робота №7

ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ І ОДНОФАЗНОГО АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА

1. МЕТА РОБОТИ

- 1) Дослідження трифазних схем випрямлення.
- 2) Дослідження однофазного автономного інвертора струму.

2. ОБЛАДНАННЯ

- 1) Стенд лабораторний №7.
- 2) Осцилограф С1-68.

3. ЗМІСТ РОБОТИ

- 1) Дослідити трифазну схему випрямлення з нульовим виводом (схему Міткевича) при роботі на активне навантаження.
- 2) Дослідити трифазну мостову схему випрямлення (схему Ларіонова) при роботі на активне навантаження.
- 3) Дослідити однофазний автономний інвертор струму з нульовим виводом при роботі на активне навантаження.

4. ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

- 4.1. Ознайомитись з робочим місцем і приладами.
- 4.2. Ввімкнути осцилограф і живлення стенда лабораторного.

4.3. Дослідження схеми Міткевича

4.3.1. Дослідження виконувати за допомогою схеми, наведеної на рис. 7.1 (мнемосхема на лівій половині стенда лабораторного).

Перемикач „Род работы” встановити у положення „Сх. Миткевича”.

4.3.2. Зняти дані для побудови зовнішньої характеристики випрямляча і розрахунку його параметрів. Для цього тумблери SB1-SB8 „Нагрузка” встановити у відключене положення. Після чого, переводячи тумблери у ввімкнене положення згідно з табл. 7.1, збільшувати струм навантаження від нуля до максимального значення. Показання вимірювальних приладів, встановлених на лицьовій панелі стенда лабораторного, занести у табл. 7.1.

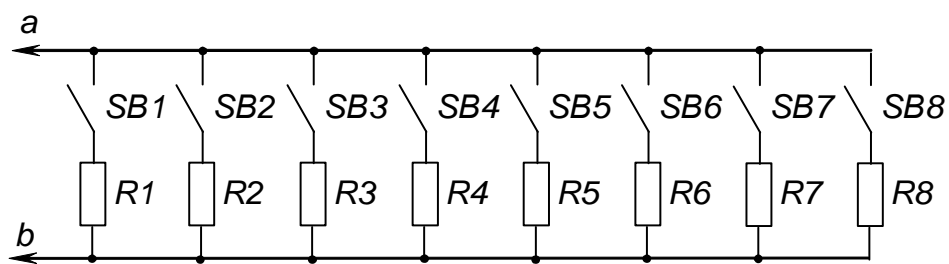
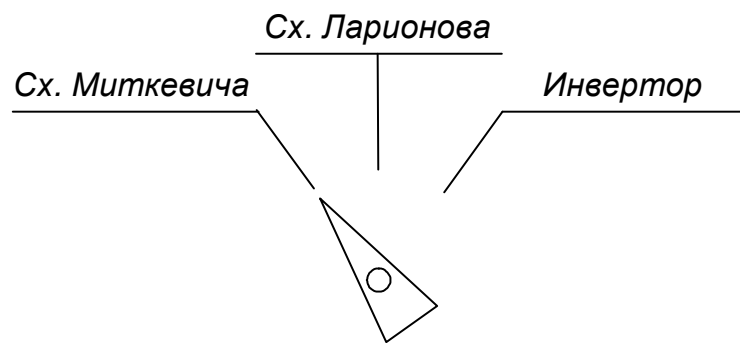
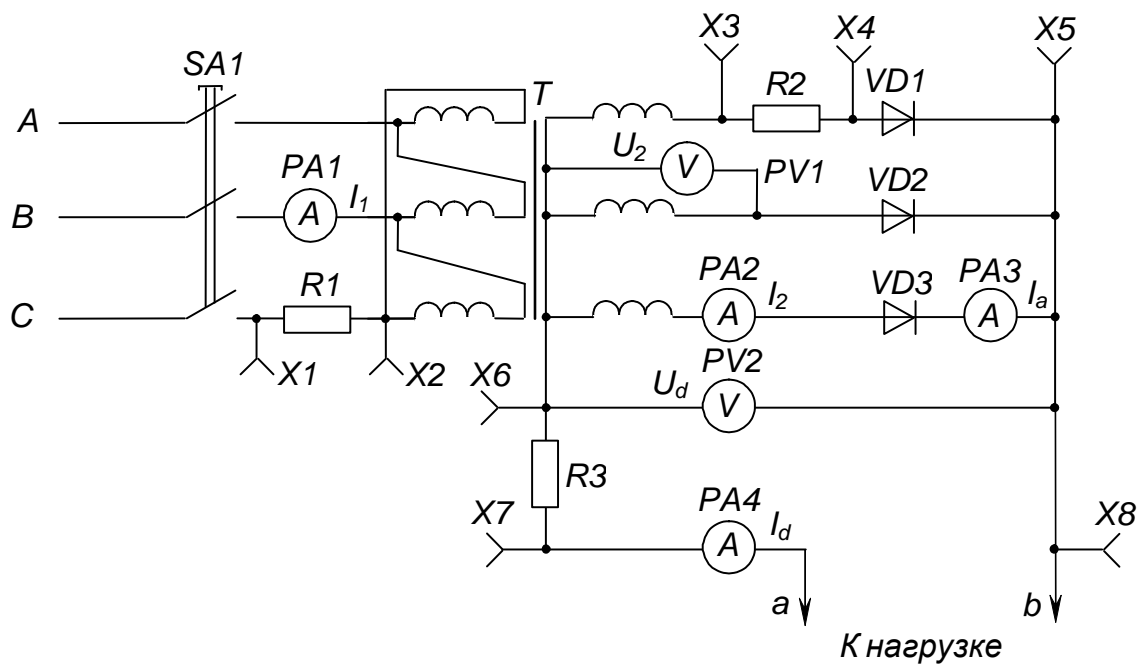


Рис. 7.1 – Схема для дослідження трифазного випрямляча з нульовим виводом (схеми Міткевича)

Таблиця 7.1 – Експериментальні дані схеми Міткевича

Кількість ввімкнених тумблерів	0	1	2	3	4	5	6	7	8
U_2 , В									
U_d , В									
I_1 , А									
I_2 , А									
I_a , А									
I_d , А									

Примітка. У табл. 7.1 позначені:

U_2 – діюче значення фазної напруги на вторинній обмотці трансформатора (вимірюється вольтметром *PV1*);

U_d – середнє значення напруги на навантаженні випрямляча (вимірюється вольтметром *PV2*);

I_1 – діюче значення лінійного струму первинної обмотки трансформатора (вимірюється амперметром *PA1*);

I_2 – діюче значення фазного струму вторинної обмотки трансформатора (вимірюється амперметром *PA2*);

I_a – середнє значення струму через діод (вимірюється амперметром *PA3*);

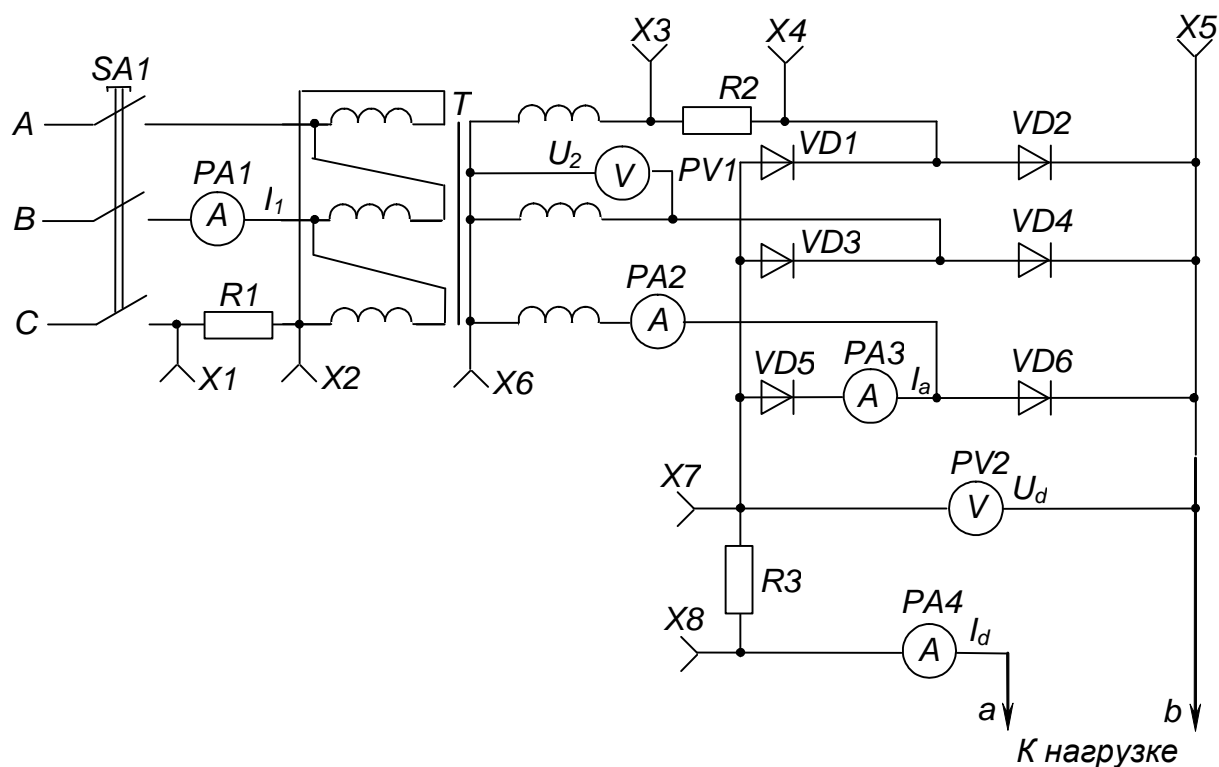
I_d – середнє значення струму навантаження (вимірюється амперметром *PA4*).

4.3.3. Зняти осцилограми напруг і струмів (тумблери *SB1-SB8* увімкнути) у схемі випрямляча (перемикач вибору виду синхронізації осцилографа встановити у положення „*Сеть*”, тут і надалі при виконанні дослідів органи керування осцилографа встановлювати у положення, що забезпечують спостереження стійкого, зручного для вимірів зображення):

1) фазної напруги на вторинній обмотці трансформатора, підімкнувши сигнальний кабель осцилографа нульовим проводом до клеми *X6*, а сигнальним – до *X3* (перемикач осцилографа „*Усилитель Y*” встановити орієнтовно у положення „*1 В/см*”, а множник підсилення по вертикалі задати рівним „*x10*”);

5) струму навантаження – клеми *X6* і *X7* відповідно.

4.4.1. Дослідження робити за допомогою схеми, зображеної на рис. 7.2 (верхня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного). Перемикач „Род роботи” встановити у положення „Сх. Ларинова”.



4.4.2. Зняти дані для побудови зовнішньої характеристики випрямляча і розрахунку його параметрів відповідно до методики пп. 4.3.2. Показання вимірювальних приладів занести в таблицю, аналогічну табл. 7.1.

4.4.3. Зняти осцилограми напруг і струмів у схемі випрямляча аналогічно методиці пп. 4.3.4, підмикаючи нульовий і сигнальний проводи сигнального кабелю осцилографа відповідно до клем:

- 1) X6-X3 (фазна напруга);
- 2) X8-X5 (напруга на навантаженні);
- 3) X5-X4 (напруга на діоді);
- 4) X4-X3 (струм вторинної обмотки);
- 5) X7-X8 (струм навантаження).

4.5. Дослідження інвертора

4.5.1. Дослідження роботи за допомогою схеми, зображеної на рис. 7.3 (нижня мнемосхема на правій половині лицьової панелі стенда лабораторного). Перемикач „Род работы” встановити у положення „Инвертор”.

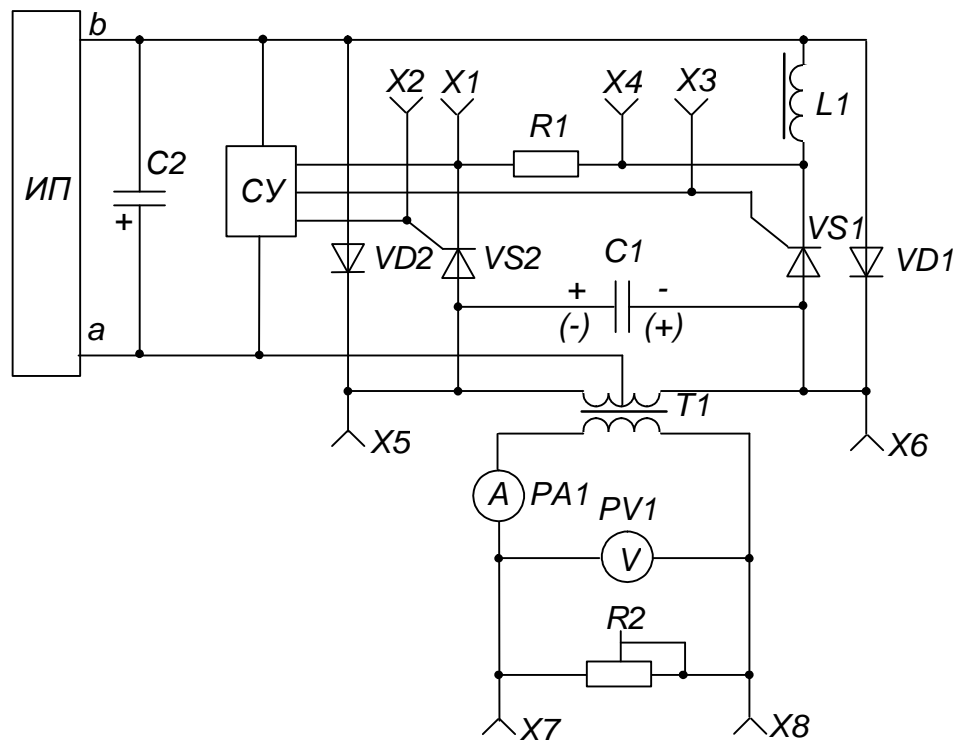


Рис. 7.3 – Схема для дослідження однофазного автономного інвертора струму

4.5.2. Зняти осцилограми напруг і струму в схемі інвертора, підмикаючи нульовий і сигнальний проводи сигнального кабелю осцилографа відповідно до клем (перемикач вибору виду синхронізації осцилографа встановити у положення „Внутр.”):

1) $X4-X3$ – імпульси керування тиристора $VS1$ (перемикач осцилографа „Усиление Y ” встановити орієнтовно у положення „ $0,2 \text{ В/см}$ ”, а масштаб – „ $\times 10$ ”);

2) $X1-X2$ – імпульси керування тиристора $VS2$;

3) $X8-X7$ – напруга на навантаженні (перемикач „Усиление Y ” – орієнтовно у положенні „ 1 В/см ”);

4) $X6-X5$ – напруга на комутуючому конденсаторі („Усиление Y ” – „ 2 В/см ”);

5) $X1-X5$ – напруга на тиристорі $VS2$;

6) $X4-X1$ – струм через тиристор $VS2$ („Усиление Y ” – орієнтовно „ 20 мВ/см ”).

4.6. Виключити осцилограф і живлення стенда лабораторного.

Навести порядок на робочому місці.

4.7. Обробка результатів експериментів

4.7.1. За даними таблиць пп. 4.3.2 і пп. 4.4.2 в одній системі координат побудувати зовнішні характеристики випрямлячів $U_d = f(I_d)$. Зробити висновки про значення і характер зміни напруги.

4.7.2. За даними пп. 4.3.2 і пп. 4.4.2 виконати розрахунки і результати занести у табл. 7.2. Виконати порівняльний аналіз показників трифазних схем випрямлення.

4.7.3. Осцилограми напруг і струмів для кожного випрямляча розташувати одну під одною з урахуванням орієнтації відносно фазної напруги на вторинній обмотці трансформатора, а для інвертора – відносно імпульсів керування тиристора $VS1$.

4.7.4. Для кожного випрямляча за осцилограмами зробити висновок про значення вихідної напруги і частоту її пульсацій, про максимальне значення зворотної напруги на діоді, форму струму вторинної обмотки трансформатора.

4.7.5. Для інвертора за осцилограмами зробити висновок про форму вихідної напруги, струму через тиристор, напруги на комутуючому конденсаторі.

Таблиця 7.2 – Результати розрахунку показників
трифазних схем випрямлення

Схема випрямлення	Відношення	Кількість увімкнених тумблерів			
		0	2	4	8
Міткевича	U_2/U_d				
	I_1/I_d				
	I_2/I_d				
	I_a/I_d				
Ларіонова	U_2/U_d				
	I_1/I_d				
	I_2/I_d				
	I_1/I_d				

5. ПОЯСНЕННЯ ДО РОБОТИ

5.1. Трифазні схеми випрямлення

Для живлення навантажень середньої і великої потужності використовують трифазні схеми випрямлення, що порівняно з однофазними мають ряд переваг: суттєво нижчий коефіцієнт пульсацій, а отже більш ефективне використання згладжуючих фільтрів, ефективне використання габаритної потужності трансформатора, краще використання вентилів за струмом.

Найрозповсюдженішими з трифазних схем випрямлення є однопівперіодна з нульовим виводом (схема Міткевича) та двопівперіодна мостова (схема Ларіонова).

5.1.1. Схема Міткевича

Схема Міткевича і часові діаграми, що пояснюють її роботу, зображені на рис. 7.4.

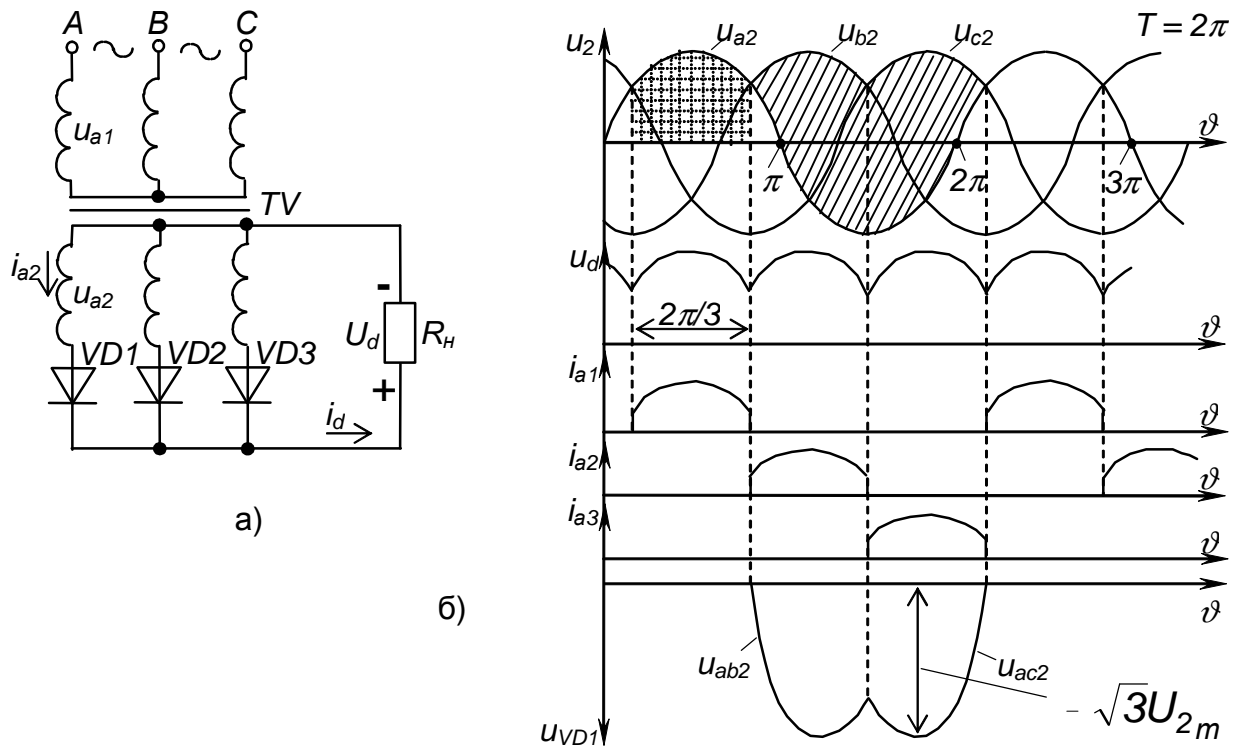


Рис. 7.4 – Трифазна схема з нульовим виводом (схема Міткевича)

Первинна обмотка трансформатора в цій схемі може бути з'єднана у зірку або трикутник, а вторинна – тільки у зірку, оскільки ця схема фактично являє собою три увімкнені паралельно однофазні однопівперіодні схеми, що працюють на спільне навантаження. При цьому е.р.с. e_{2a} , e_{2b} і e_{2c} мають напруги синусоїдної форми, що синхронно змінюються за часом і мають взаємне зміщення на кут $2\pi/3$ (тобто на 120°).

Аноди вентилів у даному разі підімкнені до виводів вторинної обмотки трансформатора, а катоди з'єднані разом і утворюють позитивний полюс випрямляча. Негативним полюсом є нульовий вивід трансформатора (див. рис. 7.4, а).

В результаті, у кожен момент часу через навантаження протікає струм, що визначається фазою з найбільш позитивною напругою.

Як видно з часових діаграм, зображених на рис. 7.4, б, напруга на навантаженні u_d і струм, що протікає через неї, i_d мають пульсуючий характер. Частота пульсації випрямленої напруги у три рази перевищує частоту мережі: $f_{(1)} = 3f_m$.

Недоліком схеми Міткевича є наявність постійного підмагнічування магнітопроводу трансформатора. Воно зумовлене тим, що, як і у будь-якої однофазної схеми, вторинною обмоткою трансформатора струм за період протікає лише один раз і у одному напрямку, тобто має постійну складову. Це вимагає використання трансформатора із підвищеним перерізом магнітопроводу – з завищеною габаритною потужністю.

Кожний діод у цій схемі працює одну третину періоду, тому середній струм через нього I_a складає третину значення середнього випрямленого струму навантаження I_d .

У закритому стані потенціал анода діода у кожен момент часу визначається напругою своєї фази, а потенціал катода – напругою фази, що живить навантаження, тобто до нього прикладається лінійна напруга, максимальне значення якої становить:

$$U_{VD\ m} = \sqrt{2} \cdot \sqrt{3} U_2 = 2,09 U_d. \quad (7.1)$$

Основні параметри схеми Міткевича при роботі на активне навантаження наведені у табл. 7.3.

5.1.2. Схема Ларіонова

Схема Ларіонова і часові діаграми, що пояснюють її роботу, зображені на рис. 7.5.

Первинна і вторинна обмотки трансформатора у цій схемі можуть з'єднуватися як у зірку, так і в трикутник. Тут шість випрямних діодів, увімкнених в трифазну мостову схему, утворюють дві групи: анодну ($VD1$, $VD2$, $VD3$) і катодну ($VD4$, $VD5$, $VD6$) – див. рис. 7.5,а.

Навантаження вмикається між спільними точками анодної і катодної груп діодів. Можна виділити три однофазних мости, підімкнених до відповідних лінійних вторинних напруг і паралельно до навантаження.

В провідному стані у схемі Ларіонова завжди знаходяться два діоди: один із анодної групи і один з катодної. Струм протікає від фази з найбільш позитивною на даний момент напругою до фази із найбільш негативною напругою. Тобто, як видно з рис. 7.5, б, потенціал з'єднаних катодів (плюс випрямляча) змінюється за верхньою огинаючою синусоїд, а потенціал з'єднаних анодів (мінус випрямляча) – за нижньою. Отже, струм навантаження у даній схемі тече під дією лінійної напруги.

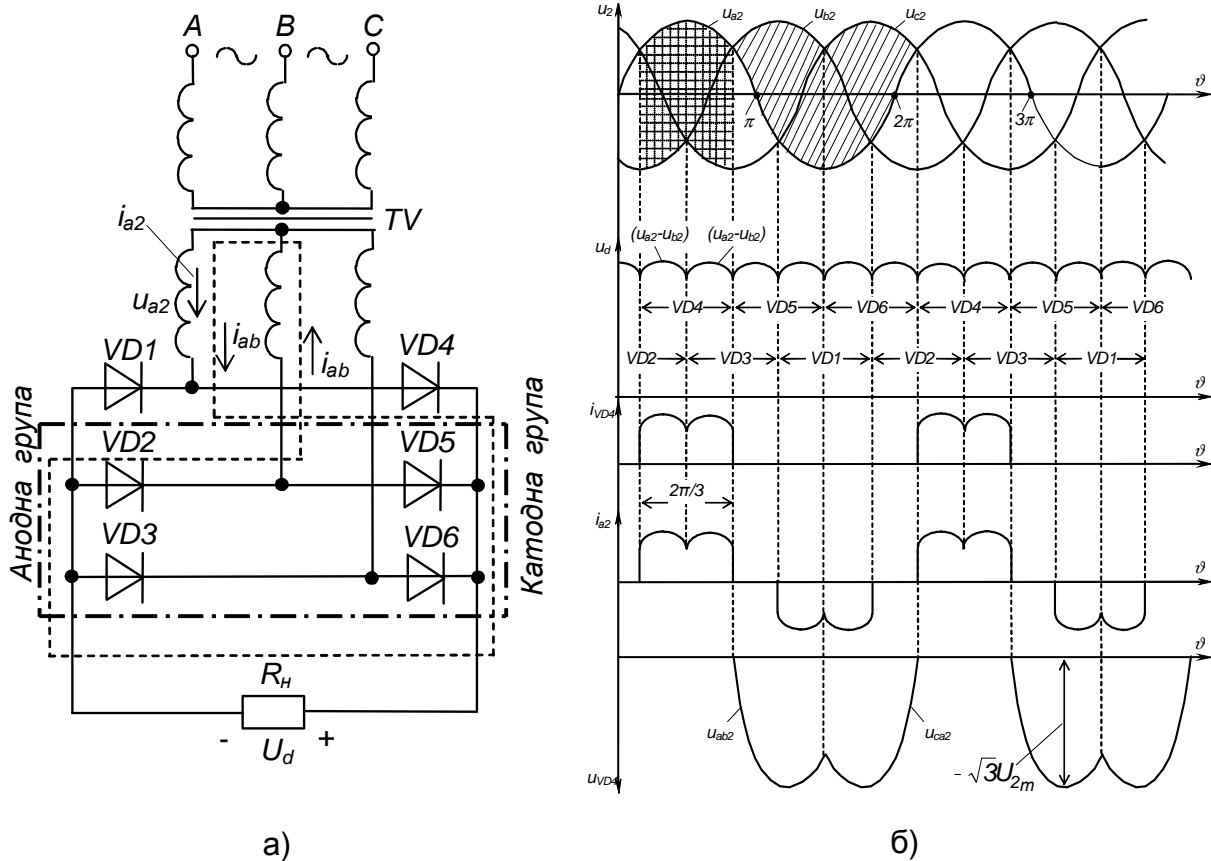


Рис. 7.5 - Трифазна мостова схема (схема Ларіонова)

Частота пульсації випрямленої напруги більша за частоту мережі у шість разів: $f_{(I)} = 6f_m$.

Амплітуда пульсацій тут значно менша, ніж у розглянутих раніше схемах випрямлення (складає менш за 6 %).

У цій схемі відсутнє підмагнічування магнітопроводу трансформатора, оскільки у вторинному колі кожної з його обмоток за період напруги мережі струм протікає двічі, причому у різних напрямках.

Зворотна напруга на діоді, як і у схемі Міткевича, дорівнює лінійній, а струм через діод також протікає протягом третини періоду.

Основні параметри схеми Ларіонова наведені у табл. 7.3.

Схема Ларіонова у порівнянні зі схемою Міткевича має такі переваги:

- 1) краще використовується трансформатор за потужністю за рахунок відсутності підмагнічування осердя;
- 2) за рівних фазних напруг середнє значення випрямленої напруги приблизно у два рази вище (потрібно задавати меншу кількість витків вторинних обмоток трансформатора);

Таблиця 7.3 – Основні параметри трифазних схем випрямлення

Параметр		Схема випрямлення	
		Міткевича	Ларіонова
Відношення діючого значення напруги вторинної обмотки трансформатора до середнього значення випрямленої напруги	$\frac{U_2}{U_d}$	0,855	0,43
Відношення діючого значення струму вторинної обмотки до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_2}{I_d}$	0,59	0,82
Відношення середнього значення струму діода до середнього значення випрямленого струму	$\frac{I_a}{I_d}$	0,33	0,33
Частота основної гармоніки пульсацій	$f_{(1)}$	3	6
Коефіцієнт пульсацій випрямленої напруги	$K_{n(1)}$	0,25	0,057
Габаритна потужність трансформатора	S_T	$1,67 P_d$	$1,05 P_d$
Наявність підмагнічування	–	є	немає

3) більш низький коефіцієнт пульсацій, що часто дозволяє використовувати схему Ларіонова без фільтра.

Правда кількість діодів у схемі Ларіонова удвічі більша, але на даний час це несуттєво, оскільки вартість діодів незначна порівняно з вартістю трансформатора, що у схемі Міткевича повинен бути приблизно на 60 % потужнішим.

5.2. Автономні інвертори

5.2.1. Автономні інвертори – це пристрої, що працюють на автономне навантаження і призначені для перетворення напруги постійного струму у напругу змінного струму заданої або регульованої частоти.

Основні області застосування автономних інверторів:

1) живлення споживачів змінного струму, коли єдиним джерелом живлення є джерело напруги постійного струму (акумуляторна батарея, сонячна батарея і т.п.);

2) робота у системах гарантованого електропостачання при зникненні напруги мережі живлення (живлення ЕОМ, вузлів зв'язку, елементів захисту на електростанціях, обладнання реакторів АЕС і т.п.);

3) живлення технологічного устаткування, частота напруги якого відрізняється від промислової частоти (наприклад, становить 400 Гц);

4) перетворення постійної напруги одного рівня у постійну напругу іншого рівня (конвертування напруг);

5) керування швидкістю обертання асинхронних електродвигунів (регульований електропривід).

Комутаційними елементами в автономних інверторах є керовані силові електронні ключі, наприклад, тиристори.

Залежно від специфіки електромагнітних процесів розрізняють інвертори напруги (АІН) та інвертори струму (АІС). Є також резонансні інвертори.

АІС підключаються до джерела живлення, як показано на рис. 7.6,а, через дросель з великою індуктивністю: комутація ключів здійснюється тут при незмінному струмі. АІС формує у навантаженні струм, а форма напруги залежить від виду навантаження.

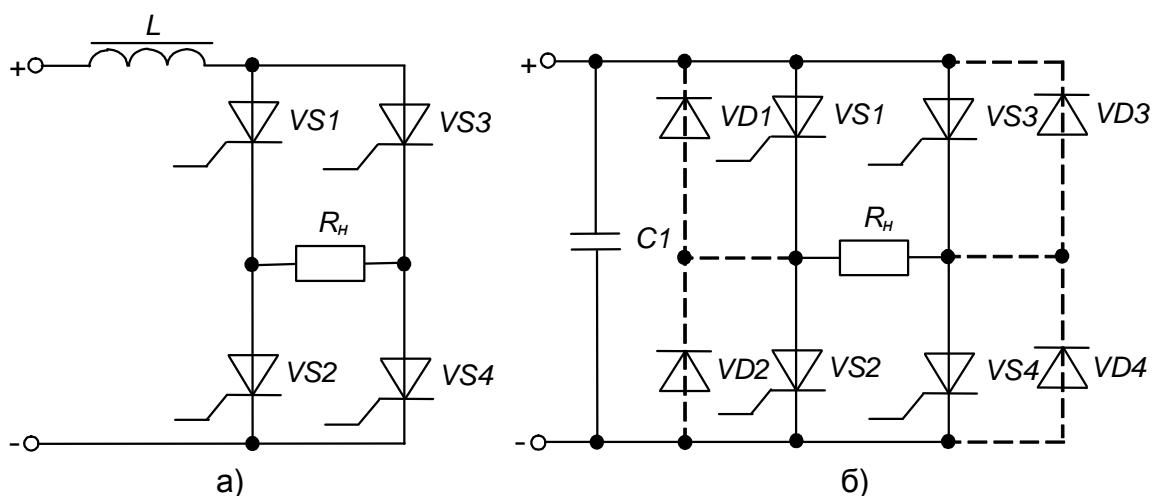


Рис. 7.6 – Автономні інвертори струму (а) та напруги (б)

АІС є непрацездатним при роботі у режимі холостого ходу, оскільки при цьому в ньому виникають значні перенапруги.

В АІН джерело постійної напруги, як показано на рис.7.6,б, шунтується конденсатором великої ємності, завдяки чому виключається вплив внутрішнього опору джерела. Перемикання ключів, у результаті, здійснюється при незмінній напрузі.

АІН формує на навантаженні напругу, а форма струму залежить від виду навантаження.

За допомогою системи керування (на рисунках не показана) здійснюється почергове вмикання пар ключових елементів, що забезпечує протікання через навантаження знакозмінного струму.

Через те, що тиристор відновлює запираючі властивості тільки після припинення протікання через нього струму, виникає проблема вимикання тиристорних ключів постійного струму. Вона розв'язується застосуванням схем (вузлів) примусової комутації, у яких зазвичай використовуються попередньо заряджені конденсатори.

5.2.2. Схема однофазного АІС з нульовим виводом (з трансформаторним виходом) зображена на рис. 7.7, а часові діаграми, що пояснюють її роботу, – на рис. 7.8.

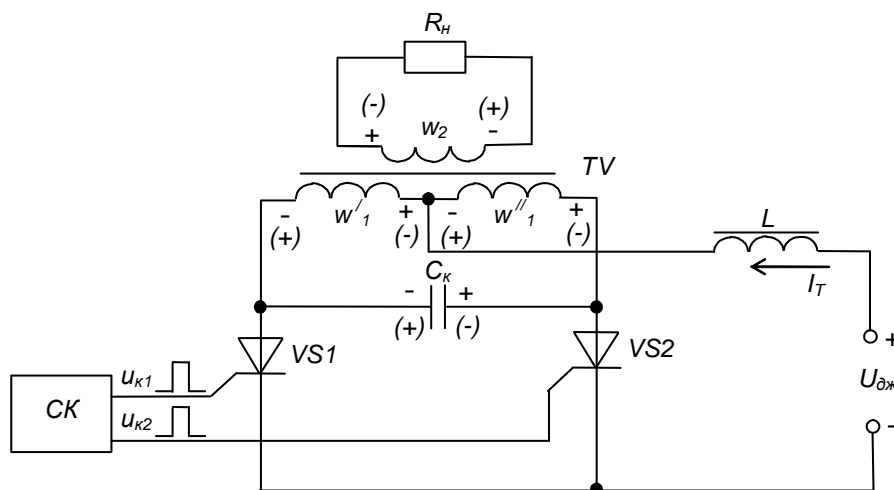


Рис. 7.7 - Однофазний інвертор струму
з трансформаторним виходом

У якості перемикачів тут використано тиристори VS1 і VS2. Трансформатор TV з коефіцієнтом трансформації $n = 2w_1/w_2$ має первинну об-

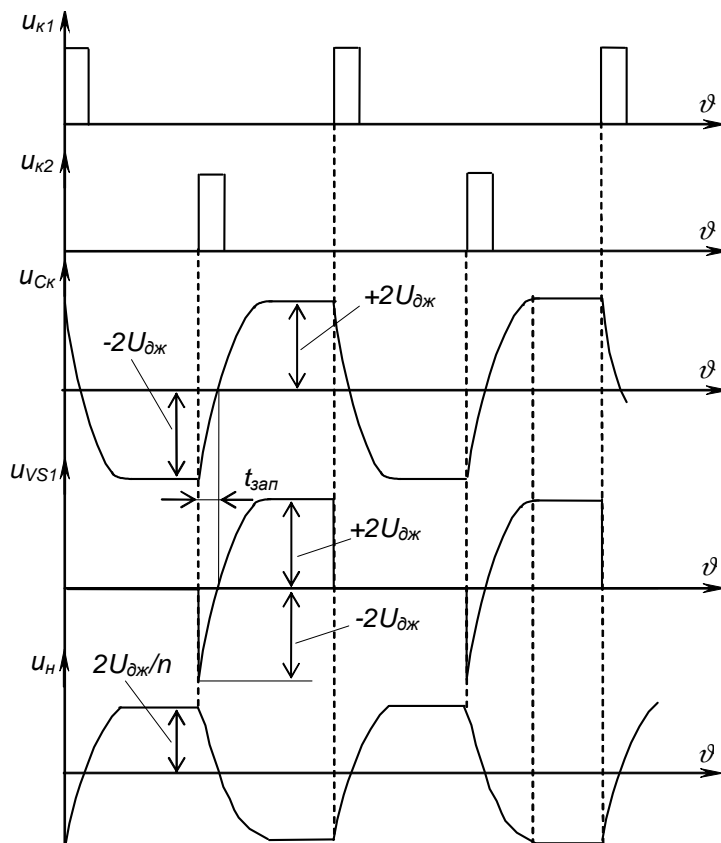


Рис. 7.8 - Часові діаграми роботи однофазного інвертора струму

мотку, що містить дві півобмотки з однаковою кількістю витків, і вторинну обмотку, до якої підімкнено навантаження.

Дросель L забезпечує незмінність струму від джерела у моменти перемикання тиристорів.

Примусове запирання тиристорів забезпечує комутуючий конденсатор C_k .

Керування тиристорами здійснює схема керування CK (наприклад, симетричний мультивібратор у автоколивальному режимі).

Працює інвертор наступним чином.

- 1) CK подає імпульс вмикання тиристора $VS1$.
- 2) Тиристор вмикається і напруга джерела живлення подається на ліву півобмотку трансформатора.
- 3) Під впливом зазначеної напруги магнітопровід трансформатора намагнічується і в іншій півобмотці, а також у вторинній обмотці трансформується напруга з полярністю, вказаною без дужок. На навантаженні формується позитивна півхвиля напруги.
- 4) Конденсатор C_k , підімкнений паралельно до первинної обмотки трансформатора, заряджається до напруги $2U_{дж}$ через опір, що дорівнює опору навантаження, приведену до первинної сторони $R_n^{(1)} = R_n n^2$.
- 5) Після закінчення проміжку часу, що відповідає позитивній півхвилі, CK вмикає тиристор $VS2$.
- 6) Комутуючий конденсатор C_k через $VS2$ підмикається паралельно до $VS1$. Полярність напруги на C_k є такою, що вимикає $VS1$, а ємність по-

винна бути достатньою для відведення струму від тиристора на час вимикання.

7) Напруга джерела живлення через $VS2$ прикладається до правої півобмотки трансформатора і його магнітопровід перемагнічується у протилежному напрямку. На навантаженні формується негативна півхвиля напруги, конденсатор C_k перезаряджається з полярністю, вказаною у дужках.

8) Після закінчення тривалості наступного півперіоду CK вмикає $VS1$, а $VS2$ запирається і т.д.

Таким чином, форма напруги на навантаженні (активному в даному випадку) визначається формою напруги на комутуючому конденсаторі і залежить від його ємності та опору навантаження. Зі збільшенням опору навантаження стала часу заряду конденсатора збільшується і форма напруги на ньому наближається до трикутної. Її амплітуда при цьому збільшується (при збереженні середнього за півперіод значення напруги). В результаті, при холостому ході за відсутності втрат у елементах пристрою напруга на навантаженні та конденсаторі безмежно (теоретично) зростає – джерело струму (дросель) намагається підтримувати значення струму незмінним. Це може призвести до виходу з ладу елементів інвертора.

Контрольні запитання

1) Наведіть схему і поясніть принцип дії трифазного випрямляча з нульовим виводом (схеми Міткевича).

2) Наведіть схему і поясніть принцип дії трифазної мостової схеми (схеми Ларіонова).

3) Покажіть, як протікає струм у довільний момент часу в схемі Міткевича і у схемі Ларіонова.

4) Поясніть форму зворотної напруги на діоді трифазних схем випрямлення.

5) Поясніть форму напруги на навантаженні трифазних схем випрямлення.

6) Поясніть форму струму в навантаженні трифазних схем випрямлення.

7) Виконайте порівняльний аналіз схем Міткевича і Ларіонова, поясніть, чому саме ці схеми переважно використовують для живлення навантажень середньої і великої потужності.

8) Поясніть призначення і принципи будови автономних інверторів.

9) Поясніть, як за допомогою інвертора можна перетворити постійну напругу одного рівня у постійну напругу іншого рівня.

10) Наведіть схему АІС з нульовим виводом і поясніть її роботу.

11) Поясніть процес комутації тиристорів у АІС з нульовим виводом.

ЛІТЕРАТУРА

1. Колонтаєвський, Ю.П. Електроніка і мікросхемотехніка [Текст]: підручник для студентів вузів, 2-е вид. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2009. - 416 с. - пп. 10.1, пп. 10.3, розділ 11.

2. Колонтаєвський, Ю.П. Промислова електроніка та мікросхемотехніка: теорія і практикум [Текст]: навч. посіб. 2-е вид., перероб. і доп. / Ю.П. Колонтаєвський, А.Г. Сосков; за ред. докт. техн. наук, проф. А.Г. Соскова - К.: Каравела, 2004. - 432 с. (та інші видання цього посібника) - пп. 10.1, пп. 10.3, розділ 11.

3. Руденко, В.С. Основы промышленной электроники [Текст]: учебник / В.И. Сенько, В.В. Трифонюк – К.: Вища школа, 1985, 400 с. - с. 274-276, 294-295, 299-310, 355-365, 374-385.

4. Забродин, Ю. С. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Ю. С. Забродин – М.: Высш. школа, 496 с. - с. 315-317, 331-337, 438-442, 452-466.

5. Горбачов, Г.И. Промышленная электроника [Текст]: учебник для вузов / Г.И. Горбачов, Е.Е. Чаплыгин – М.: Энергоатомиздат, 1988, 320 с. - с. 212-215, 227-236, 296, 303-311.

6. Красько А.С., Скачко К.Г. Промышленная электроника [Текст]: учебное пособие для теплоэнергетических спец. вузов / А.С. Красько, К.Г. Скачко – Минск: Высшейшая школа, 1984, 208 с. - с. 167-168, 173-177, 195-196, 199-201.

ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ

Звіт про лабораторну роботу – це документ, що вміщує опис проведених експериментів, отримані результати у вигляді таблиць, графіків (осцилограм) тощо, розрахункові значення та висновки з виконаної роботи.

Звіт містить:

- 1) **титульний лист**, на якому необхідно вказати (приклад виконання титульного листа наведено на рис. А1):
 - а) адміністративну приналежність навчального закладу;
 - б) назву навчального закладу (повну та скорочену);
 - в) назву кафедри, що проводить заняття;
 - г) слова „ЗВІТ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №” і далі номер та назву лабораторної роботи;
 - д) номер курсу і групи, прізвище та ініціали виконавця;
 - е) підпис виконавця і дату виконання роботи;
 - ж) вчене звання (посаду), вчену ступінь, прізвище та ініціали викладача;
 - з) назву міста та рік складання документа;
- 2) **текст звіту**, до якого входять:
 - а) мета лабораторної роботи;
 - б) перелік устаткування та вимірювальних приладів;
 - в) схеми установок, на яких проводились експерименти, або схеми електронних пристроїв, що досліджувались (виконуються згідно з вимогами державних стандартів і з застосуванням креслярського знаряддя – рекомендується застосовувати радіотехнічний трафарет);
 - г) таблиці з експериментальними і розрахунковими даними та побудовані за ними графіки;
 - д) розрахункові формули (у схемах, таблицях і формулах необхідно застосовувати стандартні умовні позначення);
 - е) осцилограми;
 - ж) висновки, у яких наводяться пояснення отриманих результатів.

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
(ХНАМП)

Кафедра теоретичної та загальної електротехніки

ЗВІТ
про лабораторну роботу № 6
ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВИПРЯМЛЯЧІВ

Виконала: студентка 3 курсу групи ЕСЕ-

Вакуленко К.Є.

Прийняв: доцент, канд. техн. наук

Колонтаєвський Ю.П.

Харків – 2012

Рис. А1 – Приклад виконання титульного листа

ЗМІСТ

Техніка безпеки при виконанні лабораторних робіт	3
ВСТУП	4
Лабораторна робота №6	
ДОСЛІДЖЕННЯ ОДНОФАЗНИХ ВІПРЯМЛЯЧІВ	6
Лабораторна робота №7	
ДОСЛІДЖЕННЯ ТРИФАЗНИХ ВІПРЯМЛЯЧІВ І ОДНОФАЗНОГО АВТОНОМНОГО ІНВЕРТОРА	28
ДОДАТОК А	
ЗМІСТ ЗВІТУ ПРО ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ	44

Навчальне видання

ПРОМИСЛОВА ЕЛЕКТРОНІКА ПЕРЕТВОРЮВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ

Методичні вказівки
до виконання лабораторних робіт
(для студентів усіх форм навчання напряму підготовки
6.050701 – "Електротехніка та електротехнології")

Укладачі: **СОСКОВ** Анатолій Георгійович,
КОЛОНТАЄВСЬКИЙ Юрій Павлович,
БІЛОУСОВ Олександр Федорович,
ФОРКУН Яна Борисівна,
САБАЛАЄВА Наталія Олегівна

Відповідальний за випуск *Ю. П. Колонтаєвський*

За авторською редакцією

Дизайн обкладинки *Ю. П. Колонтаєвського*

Комп'ютерне верстання *Ю. П. Колонтаєвського*

План 2013, поз. 234 М

Підп. до друку 28.02.2013 р.
Друк на ризографі.
Зам. №

Формат 60 x 84/16
Ум. друк. арк. 2,9
Тираж 50 пр.

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства,
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 4064 від 12.05.2011 р.